

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-228004

(43)Date of publication of application : 15.08.2000

(51)Int.Cl.

G11B 5/39

(21)Application number : 11-137621

(71)Applicant : NEC CORP

(22)Date of filing : 18.05.1999

(72)Inventor : HAYASHI KAZUHIKO  
 OHASHI HIROYUKI  
 ISHIWATA NOBUYUKI  
 NAKADA MASABUMI  
 ISHI TSUTOMU  
 HONJO HIROAKI  
 ISHIHARA KUNIIHIKO  
 FUJIKATA JUNICHI  
 MATSUDERA HISAO  
 TSUGE HISANAO  
 KAMIJO ATSUSHI

(30)Priority

Priority number : 10338880

Priority date : 30.11.1998

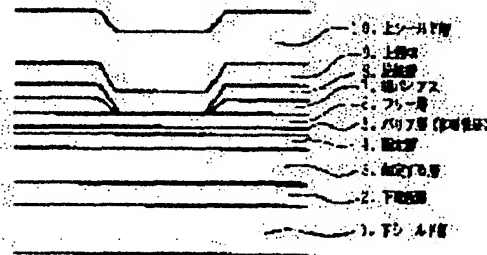
Priority country : JP

# (54) MAGNETO-RESISTIVE ELEMENT, REPRODUCING HEAD AND RECORDING AND REPRODUCING SYSTEM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To decrease reproduction noises and to obtain good/SN and bit error rate by using a tunnel junction element consisting of a free layer/nonmagnetic layer/fixing layer and providing part of the free layer with longitudinal bias layers.

SOLUTION: A lower shielding layer 1 and the free layer 6 are successively laminated on a substrate and the patterned longitudinal bias layers 7 and insulating layers 8 are laminated thereon and further, an upper electrode layer 9 and an upper shielding layer 10 are laminated thereon. The portion between the fixing layer 3 and the free layer 6 constitutes a magneto-resistive film. When current is passed from the upper electrode layer 9 to the lower electrode layer 2, the current passes between the insulating layers 8 arranged on the right and left from the upper electrode layer 9, passes between the free layer 6 and the fixing layer 3 and flows to the lower electrode layer 2. Since the longitudinal bias layers 7 are insulated from the flow of the current, the layers do not participate in the flow of the current. Since the longitudinal bias layers 7 are directly laminated on the free layer 6, the free layer 6 is sufficiently longitudinally biased.



---

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination] 18.05.1999

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 24.07.2001

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-228004

(P2000-228004A)

(43) 公開日 平成12年8月15日 (2000.8.15)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

G 1 1 B 5/39

識別記号

F I

G 1 1 B 5/39

ターミナル (参考)

5 D 0 3 4

審査請求 有 請求項の数23 O L (全 25 頁)

(21) 出願番号 特願平11-137621

(22) 出願日 平成11年5月18日 (1999.5.18)

(31) 優先権主張番号 特願平10-338880

(32) 優先日 平成10年11月30日 (1998.11.30)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 林 一彦

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(72) 発明者 大橋 啓之

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(74) 代理人 100070530

弁理士 畑 泰之

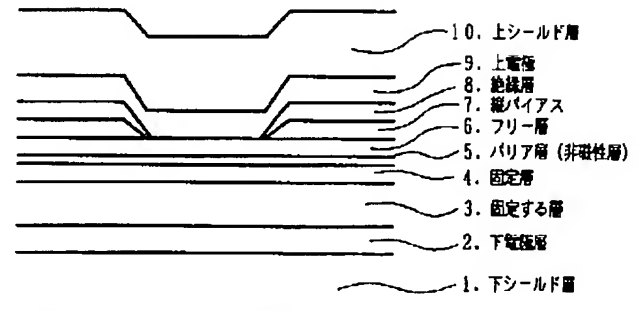
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気抵抗効果素子、再生ヘッド、および記録再生システム

(57) 【要約】

【課題】 フリー層に大きな縦バイアスを印加しフリー層の磁区をコントロール出来、R-Hループ上でヒステリシスが少なく、記録媒体上の磁気情報の再生でも、ノイズの少ない再生信号が得られる磁気抵抗効果ヘッドを提供する。

【解決手段】 磁気抵抗効果素子としてフリー層／非磁性層／固定層を基本構成とするトンネル接合素子を用いたシールド型磁気抵抗効果素子において、フリー層の少なくとも一部に接触する縦バイアス層が設けられていることを特徴とする磁気抵抗効果素子。



**【特許請求の範囲】**

【請求項 1】 磁気抵抗効果素子としてフリー層／非磁性層／固定層を基本構成とするトンネル接合素子を用いたシールド型磁気抵抗効果素子において、フリー層の少なくとも一部に接触する縦バイアス層が設けられていることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項 2】 磁気抵抗効果膜として強磁性層と非磁性層が交互に積層して構成された基本構成を有し、磁気抵抗変化検出のためのセンス電流のすべてが当該非磁性層を通過する様に構成された磁気抵抗効果素子において、当該強磁性層のうち選択された少なくとも 1 層の少なくとも 1 部に接触する縦バイアス層が設けられていることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項 3】 磁気抵抗効果膜としてフリー層／非磁性層／固定層が積層された基本構成を有し、磁気抵抗変化検出のためのセンス電流のすべてが当該非磁性層を通過する磁気抵抗効果素子において、当該フリー層の少なくとも 1 部に接触するフリー層の磁区制御機能を有する縦バイアス層が設けられていることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項 4】 基体上に形成された下シールド層と、少なくとも一部が下シールド上に形成されるか下シールドと兼用された下電極層と、  
当該下電極層上に形成される、固定する層／固定層／非磁性層／フリー層を基本構成とする強磁性トンネル接合膜と、  
該フリー層上に形成され、所定のパターンを有して配置されている縦バイアス層、  
当該フリー層上及び当該縦バイアス層上に所定のパターンを有して配置されている絶縁層と、  
当該フリー層上に形成され、かつ当該フリー層及び当該絶縁層には接するが当該縦バイアス層には接する事が無い様に形成された上電極層とから構成されていることを特徴とする磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 5】 当該上電極層は、上シールドを兼用するか、当該上電極層上に更に上シールド層が設けられている事を特徴とする請求項 4 記載の磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 6】 基体上に形成された下シールド層と、少なくとも一部が下シールド上に形成されるか下シールドと兼用された下電極層と、  
下電極層上に形成される、固定する層／固定層／導電性磁性層／フリー層を基本構成とする磁気抵抗効果膜と、  
当該フリー層上に形成され、所定のパターンを有して配置されている縦バイアス層、  
当該フリー層上及び当該縦バイアス層上に所定のパターンを有して配置されている絶縁層と、  
当該フリー層上に形成され、かつ当該フリー層及び当該絶縁層には接するが当該縦バイアス層には接する事が無い様に形成された上電極層とから構成されていることを特徴とする磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 7】 当該上電極層は、上シールドを兼用するか、当該上電極層上に更に上シールド層が設けられている事を特徴とする請求項 6 記載の磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 8】 基体上に形成された下電極層と、  
当該下電極層上に形成される固定する層／固定層／非磁性層／フリー層を基本構成とする強磁性トンネル接合膜と、  
当該フリー層上に形成され、所定のパターンを有して配列されている当該フリー層よりも狭い幅を有する上電極層と、

該フリー層上に形成され、所定のパターンを有して配置されていると共に、その一部が当該上電極層上にも配置せしめられている縦バイアス層と、  
少なくとも一部が縦バイアス層上に形成された上シールドと、からなることを特徴とする磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 9】 基体上に形成された下シールド層と、少なくとも一部が下シールドの上部に形成されるか下シールドと兼用された下電極層と、下電極層上に形成される固定する層／固定層／導電非磁性層／フリー層を基本構成とする磁気抵抗効果膜と、  
当該フリー層上に形成され、所定のパターンを有して配列されている当該フリー層よりも狭い幅を有する上電極層と、

該フリー層上に形成され、所定のパターンを有して配置されていると共に、その一部が当該上電極層上にも配置せしめられている縦バイアス層と、  
少なくとも一部が縦バイアス層上に形成された上シールドと、からなることを特徴とする磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 10】 基体上に形成された下シールド層と、少なくとも一部が下シールド上部に形成されるか下シールドと兼用された下電極層と、  
当該下電極層上に形成され、所定のパターンを有して配置されている縦バイアス層、  
少なくとも一部が当該下電極層上に形成されていると共に、他の部分が当該縦バイアス層の上に形成されているフリー層と、

当該フリー層上に形成されている非磁性層／固定層／固定する層を基本構成とする強磁性トンネル接合膜と、  
当該フリー層の少なくとも一部の上に形成され、且つ当該強磁性トンネル接合膜と接触する様にパターン化されている絶縁層と、  
当該固定する層上に接している上電極層と、  
少なくとも一部が上電極層上に形成されるか、上電極層と兼用された上シールドと、からなることを特徴とする磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 11】 基体上に形成された下シールド層と、少なくとも一部が下シールド上部に形成されるか下シールドと兼用された下電極層と、  
当該下電極層上に形成され、所定のパターンを有して配置されている縦バイアス層、

当該フリー層上及び当該縦バイアス層上に所定のパターンを有して配置されている絶縁層と、  
少なくとも一部が当該下電極層上に形成されていると共に、他の部分が当該縦バイアス層の上に形成されているフリー層と、

当該フリー層上に形成されている導電性非磁性層／固定層／固定する層を基本構成とする磁気抵抗効果膜と、  
当該フリー層の少なくとも一部の上に形成され、且つ当該磁気抵抗効果膜と接触する様にパターン化されている絶縁層と、  
当該固定する層上に接している上電極層と、  
少なくとも一部が上電極層上に形成されるか、上電極層と兼用された上シールドと、からなることを特徴とする磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 12】 基体上に形成された下シールド層と、  
少なくとも一部が下シールドの上部に形成されるか、下シールドと兼用された下電極層と、  
当該下電極層上に形成されたフリー層と、  
当該フリー層上に、所定のパターンを有して配置されている縦バイアス層と、  
当該縦バイアス層と接しているフリー層／バリア層／固定層／固定する層を基本構成とする強磁性トンネル接合膜と、  
当該フリー層及び当該縦バイアス層の少なくとも一部上に所定のパターンを有して配置されている絶縁層と、  
当該固定する層上に形成され、少なくとも一部が固定する層に接している上電極層と、  
少なくとも一部が上電極層の上部に形成されるか、上電極層と兼用された上シールドと、  
からなることを特徴とする磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 13】 基体上に形成された下シールド層と、  
少なくとも一部が下シールドの上部に形成されるか、下シールドと兼用された下電極層と、  
当該下電極層上に形成されたフリー層と、  
当該フリー層上に、所定のパターンを有して配置されている縦バイアス層と、  
当該縦バイアス層と接しているフリー層／導電性非磁性層／固定層／固定する層を基本構成とする磁気抵抗効果膜と、  
当該フリー層及び当該縦バイアス層の少なくとも一部上に所定のパターンを有して配置されている絶縁層と、  
当該固定する層上に形成され、少なくとも一部が固定する層に接している上電極層と、  
少なくとも一部が上電極層の上部に形成されるか、上電極層と兼用された上シールドと、からなることを特徴とする磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 14】 基体上に形成された下シールド層と、  
少なくとも一部が下シールドの上部に形成されるか下シールドと兼用された下電極層と、  
当該下電極層上に形成された、固定する層／固定層／非

磁性層／フリー層を基本構成とする強磁性トンネル接合膜と、  
少なくとも一部が当該非磁性層に接しており、且つ他の部分が当該フリー層に接している絶縁層と、  
当該絶縁層上に形成され且つ当該フリー層にその少なくとも一部が接している縦バイアス層と、  
少なくとも一部が当該フリー層に接している上電極層と、  
少なくとも一部が上電極層の上部に形成されるか、上電極層と兼用された上シールドと、からなることを特徴とする磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 15】 基体上に形成された下シールド層と、  
少なくとも一部が下シールドの上部に形成されるか下シールドと兼用された下電極層と、  
当該下電極層上に形成された、固定する層／固定層／導電性非磁性層／フリー層を基本構成とする磁気抵抗効果膜と、  
少なくとも一部が当該非磁性層に接しており、且つ他の部分が当該フリー層に接している絶縁層と、  
当該絶縁層上に形成され且つ当該フリー層にその少なくとも一部が接している縦バイアス層と、  
少なくとも一部が当該フリー層に接している上電極層と、  
少なくとも一部が上電極層の上部に形成されるか、上電極層と兼用された上シールドと、からなることを特徴とする磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 16】 基体上に形成された下シールド層と、  
少なくとも一部が下シールドの上部に形成されるか下シールドと兼用された下電極層と、  
当該下電極層上に形成された、固定する層／固定層／非磁性層／フリー層を基本構成とする強磁性トンネル接合膜と、  
当該非磁性層上に形成されると共に、一部が当該フリー層に接している絶縁層と、  
界面制御層を介するかあるいは直接に、少なくとも一部がフリー層上に接して配置されている縦バイアス層と、  
少なくとも一部が当該縦バイアス層に接している上電極層と、  
少なくとも一部が当該上電極層の上部に形成されるか、上電極層と兼用された上シールドと、からなることを特徴とする磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 17】 基体上に形成された下シールド層と、  
少なくとも一部が下シールドの上部に形成されるか下シールドと兼用された下電極層と、  
当該下電極層上に形成された、固定する層／固定層／導電性非磁性層／フリー層を基本構成とする磁気抵抗効果膜と、  
当該導電性非磁性層上に形成されると共に、一部が当該フリー層に接している絶縁層と、  
界面制御層を介するかあるいは直接に、少なくとも一部

がフリー層上に接して配置されている縦バイアス層と、少なくとも一部が当該縦バイアス層に接している上電極層と、

少なくとも一部が当該上電極層の上部に形成されるか、上電極層と兼用された上シールドと、からなることを特徴とする磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 18】 基体上に形成された下シールド層と、少なくとも一部が下シールドの上部に形成されるか下シールドと兼用された下電極層と、

当該下電極層上に形成された、固定する層／固定層／非磁性層／フリー層を基本構成とする強磁性トンネル接合膜若しくは磁気抵抗効果膜と、

少なくとも一部が当該非磁性層に接しており、且つ他の部分が当該フリー層に接している酸化物縦バイアス層と、

少なくとも一部が当該フリー層に接している上電極層と、

少なくとも一部が上電極層の上部に形成されるか、上電極層と兼用された上シールドと、からなることを特徴とする磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 19】 請求項 1 乃至 18 の何れかに記載された構成を有する磁気抵抗効果ヘッドにおいて、当該強磁性トンネル接合素子または磁気抵抗効果素子に平行なヘッド情報位置から見た平面図において、上電極層と下電極層が少なくとも一部重なるように形成されていることを特徴とする磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 20】 当該磁気抵抗効果ヘッドに於て、当該上電極層と下電極層は全てが重なり合う事がない様に配置せしめられている事を特徴とする請求項 19 記載の磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 21】 請求項 1～17 記載の磁気抵抗効果センサと、磁気抵抗センサを通る電流を発生せしめる手段と、検出される磁界の関数として上記磁気抵抗センサの抵抗率変化を検出する手段とを備えた磁気抵抗検出システム。

【請求項 22】 データ記録のための複数のトラックを有する磁気記憶媒体と、磁気記憶媒体上にデータを記憶させるための磁気記録システムと、請求項 18 記載の磁気抵抗検出システムと、磁気記録システムおよび磁気抵抗検出システムを前記磁気記憶媒体の選択されたトラックへ移動させるために、磁気記録システム及び磁気抵抗変換システムとに結合されたアクチュエータ手段とからなる磁気記憶システム。

【請求項 23】 磁気抵抗効果素子としてフリー層／非磁性層／固定層を基本構成とするトンネル接合素子を用いたヨーク型磁気抵抗効果素子において、フリー層の少なくとも一部に接触する縦バイアス層が設けられていることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は磁気媒体に記録した情報信号を読み取るための磁気センサに関する。

【0002】

【従来の技術】 従来技術では、磁気抵抗 (MR) センサまたはヘッドと呼ばれる磁気読み取り変換器が開示されており、これは、大きな線形密度で磁性表面からデータを読み取れることがわかっている。

【0003】 MRセンサは、読み取り素子によって感知される磁束の強さと方向の関数としての抵抗変化を介して磁界信号を検出する。こうした従来技術のMRセンサは、読み取り素子の抵抗の1成分が磁化方向と素子中を流れる感知電流の方向の間の角度の余弦の2乗に比例して変化する、異方性磁気抵抗 (AMR) 効果に基づいて動作する。

【0004】 AMR効果のより詳しい説明は、D. A. トンプソン (Thompson) 等の論文 "Memory, Storage, and Related Applications" IEEE Trans. on Mag. MAG-11, p. 1039 (1975)に出ている。

【0005】 AMR効果を用いた磁気ヘッドではバルクハウゼンノイズを抑えるために縦バイアスを印加することが多いが、この縦バイアス印加材料として、FeMn、NiMn、ニッケル酸化物などの反強磁性材料を用いる場合がある。

【0006】 さらに最近には、積層磁気センサの抵抗変化が、非磁性層を介する磁性層間での電導電子のスピン依存性伝送、及びそれに付随する層界面でのスピン依存性散乱に帰される、より顕著な磁気抵抗効果が記載されている。

【0007】 この磁気抵抗効果は、「巨大磁気抵抗効果」や「スピン・バルブ効果」など様々な名称で呼ばれている。このような磁気抵抗センサは適当な材料で出来ており、AMR効果を利用するセンサで観察されるよりも、感度が改善され、抵抗変化が大きい。

【0008】 この種のMRセンサでは、非磁性層で分離された1対の強磁性体層の間の平面内抵抗が、2つの層の磁化方向間の角度の余弦に比例して変化する。

【0009】 1988年6月に優先権主張されている特開平2-61572には、磁性層内の磁化の反平行整列によって生じる高いMR変化をもたらす積層磁性構造が記載されている。

【0010】 積層構造で使用可能な材料として、上記明細書には強磁性の遷移金属及び合金が挙げられている。また、中間層により分離している少なくとも2層の強磁性層の一方に固定する層を付加した構造および固定する層としてFeMnが適当であることが開示されている。

【0011】 又、1990年12月11日に優先権主張されている、特開平4-358310には、非磁性金属体の薄膜層によって仕切られた強磁性体の2層の薄膜層を有し、印加磁界が零である場合に2つの強磁性薄膜層の磁化方向が直交し、2つの非結合強磁性体層間の抵抗

が2つの層の磁化方向間の角度の余弦に比例して変化し、センサ中を通る電流の方向とは独立な、MRセンサが開示されている。

【0012】一方、1990年8月22日に出版されている、特開平4-103014号公報には、強磁性に他の中間層を挿入して多層膜とした強磁性トンネル接合素子において、少なくとも一層の強磁性層に反強磁性体からのバイアス磁界が印加されていることを特徴とする強磁性トンネル効果膜についての記載がある。

【0013】強磁性トンネル接合を用いた再生ヘッドにおいて、フリー層の磁区を制御する層（縦バイアス層）がフリー層に接触しない構造については、1996年11月27日に優先権主張されている、特開平10-162327号公報に記述がある。

【0014】磁気抵抗効果素子にスピバルブを用いたCPP-MR（膜面に垂直に電流を流すMR）素子において、フリー層の磁区を制御する層（縦バイアス層）がフリー層に接触しない構造については、1996年5月24日に出版されている、USP. 5,668,688号明細書に記述がある。

【0015】

【発明が解決しようとする課題】強磁性トンネル接合を用いたシールド型磁気抵抗効果素子として、従来は、縦バイアス層がフリー層に直接接触しない構造が提案されていた。

【0016】これは、強磁性トンネル接合を用いたシールド型素子においては、センス電流をトンネル接合部に垂直に流す必要があり、従来のスピバルブを用いたシールド型素子と類似した構造では、トンネル接合部をバイパスして、それに近傍にあるより抵抗値の低い縦バイアス部をセンス電流が流れてしまい、抵抗変化の検出に寄与しないという課題を解決するものであった。

【0017】図11は、特開平10-162327に記載されている、従来の強磁性トンネルヘッドの構造概念図である。パターン化された強磁性トンネル接合素子に対し、絶縁層を介して縦バイアス層が配置されている様子が書かれている。

【0018】磁気抵抗効果素子にスピバルブを用いたCPP-MRでは、非磁性部の抵抗が強磁性トンネル接合ほど大きくはないものの、やはり抵抗の低い縦バイアス部をセンス電流が少なからずバイパスしてしまう問題が指摘され、これを解決するためにパターン化されたスピバルブ素子に対し、絶縁層を介して縦バイアス層が配置されている様子が書かれている（USP5668688）。

【0019】ところが、この方式は、縦バイアス層とフリー層との間に位置する絶縁層が、磁気分離層としても機能してしまうため、フリー層に十分な大きさの縦バイアスを印加することが困難であり、したがってフリー層の磁区が十分にコントロールされないことから、シールド型センサとしてもR-Hループ上でヒステリシスが多

く、記録媒体上の磁気情報を再生した場合にも、ノイズの多い再生信号になっていた。

【0020】図12は3次元磁場解析シミュレーションにより求めた、規格化縦バイアス磁界である。磁場解析のモデルとしては図13のような構造をもちい、縦バイアスの端部がMR素子の端部からどれだけずれているかをパラメータに計算した。縦バイアスの値は端部のずれがまったくなかった場合の値で規格化した値を示した。

【0021】図を見て一目瞭然であるように、端部のずれが大きいほど特にXの値が小さく縦バイアス端部とMR端部とが近いところで縦バイアスの低下が大きいことがわかる。

【0022】このように縦バイアスの端部が、磁性層の端部から離れていると、縦バイアスが十分に印加されないことについてはシミュレーションの上からも確認されている。

【0023】その他、特開平10-4227号公報、特開平10-190090号公報及び特開平10-162326号公報には、磁気トンネル接合素子を使用した接合磁界センサが記載されているが、何れの公知例にも縦バイアス層を使用する技術に関しては開示も示唆も無く、又特開平10-162327号公報には、縦バイアス層を含む磁気トンネル接合素子を使用した接合磁界センサが記載されているが、当該縦バイアス層をフリー層に接続して使用する技術に関しては記載が見られない。

【0024】従って、本発明の目的は、上記した従来技術の欠点を改良し、従来より再生波形のノイズが少なく、S/N比及びビットエラーレートが良好な磁気抵抗効果センサ、磁気抵抗効果ヘッド、および記録再生システムを容易に且つ経済的に得ることである。

【0025】

【課題を解決するための手段および作用】本発明は上記した目的を達成する為、以下に示す様な基本的な技術構成を採用するものである。即ち、磁気抵抗効果素子としてフリー層／非磁性層／固定層を基本構成とするトンネル接合素子を用いたシールド型磁気抵抗効果素子において、フリー層の少なくとも一部に接触する縦バイアス層が設けられている磁気抵抗効果素子及び係る基本的な構成を有する磁気抵抗効果素子を使用した磁気抵抗効果ヘッド或いは磁気抵抗検出システムである。

【0026】

【発明の実施の形態】本発明に係る当該磁気抵抗効果素子の構成をより詳細に説明するならば、フリー層／バリア層／固定層を基本構成とするトンネル接合素子を用いたシールド型磁気抵抗効果素子において、縦バイアスとフリー層の少なくとも一部が接触するようにするものである。

【0027】又、本発明に於ける当該磁気抵抗効果膜として強磁性層と導電非磁性層が交互に積層している基本構成を有し、磁気抵抗変化検出のためのセンス電流のす

べてが金属非磁性層を通過する磁気抵抗効果素子において、強磁性層のうち少なくとも1層の少なくとも1部に接触するフリー層の縦バイアス層を有するようにする。

【0028】これにより、上述の縦バイアスがフリー層に印加されないという課題が解決する。しかし、ただ単に縦バイアスとフリー層とが接触するだけでは、センス電流が縦バイアス部を流れ、肝心の強磁性トンネル接合部や導電非磁性層を流れない可能性がある。

【0029】更に、本発明に於いては、縦バイアスがフリー層にきちんと印加され、しかもセンス電流が縦バイアス部をバイパスせず、きちんと強磁性トンネル接合素子部を流れるようにするためには、以下に説明する様な7種類の構造を基本構成とした構造を用いることが有効であると考えられる。

【0030】尚、本発明に於て、バリア層と導電非磁性層とをあわせて非磁性層と呼ぶことにする。

【0031】

【実施例】以下に、本発明に係る磁気抵抗効果ヘッドの具体例の構成を図面を参照しながら詳細に説明する。

【0032】即ち、図1は、本発明に係る当該磁気抵抗効果ヘッドの基本的な構成の概略を示す断面図であって、図中、磁気抵抗効果素子としてフリー層6／非磁性層5／固定層4を基本構成とするトンネル接合素子20を用いたシールド型磁気抵抗効果素子30において、フリー層6の少なくとも一部に接触する縦バイアス層7が設けられている磁気抵抗効果素子30が示されている。

【0033】即ち、本発明に係る第1の具体例としては、図1に示す様に、シールド型センサ部をABS面に平行に切った時の断面の概念図を示す。

【0034】この構成では、基体上にな下シールド層1、下電極層2、固定する層3、固定層4、非磁性層5、フリー層6が順次積層される。

【0035】その上に図1に示したようにパターン化された縦バイアス層7および絶縁層8が積層される。

【0036】さらにその上に上電極層9および上シールド層10が積層される。図示されていない下地層を介して、下電極部上に形成された、固定する層3／固定層4／非磁性層5／フリー層6の部分が磁気抵抗効果膜20を構成するものである。

【0037】この構造では、仮に図中の上電極から下電極へ電流を流したとすると、電流は上電極から左右に配置された絶縁層の間を通り、フリー層6、非磁性層5、固定層4、固定する層3、下地層を通過し、下電極層2へと流れる。この際、縦バイアス層7は電流の流れから絶縁されているので、電流の流れ方に関与することはない。

【0038】また、縦バイアス層7はフリー層6上に直接積層されているので、その縦バイアス7はフリー層6に十分印加されることになる。したがって、この構造を用いることにより、非磁性層部をセンス電流がきちんと

流れることと、フリー層6に縦バイアス7をきちんと印加することを両立することができる。

【0039】尚、本具体例に於ける当該非磁性層は、前記した様に、バリア層を形成するものである。

【0040】ここでは、下シールド層1上に下電極層2を積層し、上電極層9上に上シールド層10を積層した構造について記述したが、下シールド層1と下電極層2との間、または上電極層9と上シールド層10との間に下ギャップ層として絶縁層を配置することも可能である。また、下シールド層1と下電極層2、上電極層9と上シールド層10を兼用にすることもできる。

【0041】当該固定する層3を構成する反強磁性層と下電極層2との間には、特に図示してはいないが、適宜の下地層、フリー層6と上電極層9との間には適宜の上部層を設けることも可能である。

【0042】又、本発明に係る当該磁気抵抗効果素子としては、磁気抵抗効果膜として強磁性層と非磁性層が交互に積層して構成された基本構成を有し、磁気抵抗変化検出のためのセンス電流のすべてが当該非磁性層を通過する様に構成された磁気抵抗効果素子において、当該強磁性層のうち選択された少なくとも1層の少なくとも1部に接触する縦バイアス層が設けられているものでもある。

【0043】つまり、本具体例では、当該強磁性層には、少なくとも当該フリー層6と当該固定層4が含まれるものであって、その内の例えば、フリー層6に該当する強磁性層を選択して当該縦バイアス層7と接触させる様に構成するものである。

【0044】更に、本発明に係る当該磁気抵抗効果素子30の構成を更に詳しく説明するならば、磁気抵抗効果膜20としてフリー層6／バリア層としての非磁性層5／固定層4が積層された基本構成を有し、磁気抵抗変化検出のためのセンス電流のすべてが当該非磁性層5を通過する磁気抵抗効果素子20において、当該フリー層6の少なくとも1部に接触するフリー層6の磁区制御機能を有する縦バイアス層7が設けられている磁気抵抗効果素子である。

【0045】次に、本発明に於ける当該磁気抵抗効果素子30を使用した磁気抵抗効果ヘッド30の更に別の具体例に於ける構成を図1を参照しながら説明する。

【0046】つまり、本発明に係る磁気抵抗効果素子30の第2の具体例に於いては、基体上に形成された下シールド層1と、少なくとも一部が下シールド上に形成されるか下シールドと兼用された下電極層2と、当該下電極層2上に形成される、固定する層3／固定層4／非磁性層5／フリー層6を基本構成とする強磁性トンネル接合膜20と、該フリー層6上に形成され、所定のパターンを有して配置されている縦バイアス層7、当該フリー層6上及び当該縦バイアス層7上に所定のパターンを有して配置されている絶縁層8と、当該フリー層6上に形



成され、かつ当該フリー層 6 及び当該絶縁層 8 には接するが当該縦バイアス層 7 には接する事が無い様に形成された上電極層 9 とから構成されている磁気抵抗効果ヘッド 30 である。

【0047】本具体例に於いては、当該上電極層 9 は、上シールド層 10 を兼用するか、当該上電極層 9 上に更に上シールド層 10 が設けられていても良い。

【0048】更に、本具体例に於いては、当該縦バイアス層 7 及び当該絶縁層 8 は、ABS 面から見てフリー層 6 よりも狭い幅を有する様に、パターン化されている事が望ましい。

【0049】又、本発明に於ける当該磁気抵抗効果ヘッドの他の態様としては、基体上に形成された下シールド層 1 と、少なくとも一部が下シールド上に形成されるか下シールドと兼用された下電極層 2 と、下電極層 2 上に形成される、固定する層 3 / 固定層 4 / 導電磁性層 5 / フリー層 6 を基本構成とする磁気抵抗効果膜 20 と、当該フリー層 6 上に形成され、所定のパターンを有して配置されている縦バイアス層 7 と、当該フリー層 6 上及び当該縦バイアス層 7 上に所定のパターンを有して配置されている絶縁層 8 と、当該フリー層 6 上に形成され、かつ当該フリー層 6 及び当該絶縁層 8 には接するが当該縦バイアス層 7 には接する事が無い様に形成された上電極層 9 とから構成されている磁気抵抗効果ヘッド 30 である。

【0050】上記態様に於いては、前記した様に、当該上電極層 9 は、上シールドを兼用するか、当該上電極層 9 上に更に上シールド層 10 が設けられていても良い。

【0051】更に、本具体例に於いては、当該縦バイアス層 7 及び当該絶縁層 8 は、ABS 面から見てフリー層 6 よりも狭い幅を有する様に、パターン化されている事が望ましい。

【0052】次に、本発明に係る当該磁気抵抗効果ヘッド 30 の第 2 の具体例を図 2 を参照しながら説明する。

【0053】即ち、当該磁気抵抗効果ヘッドは、基体上に形成された下電極層 2 と、当該下電極層 2 上に形成される固定する層 3 / 固定層 4 / 非磁性層 5 / フリー層 6 を基本構成とする磁気抵抗効果膜 20 と、当該フリー層 6 上に形成され、所定のパターンを有して配列されている当該フリー層 6 よりも狭い幅を有する上電極層 9 と、該フリー層 6 上に形成され、所定のパターンを有して配置されていると共に、その一部が当該上電極層 9 上にも配置せしめられている縦バイアス層 7 と、及び少なくとも一部が縦バイアス層 7 上に形成された上シールド 10 と、から構成されている磁気抵抗効果ヘッド 30 である。

【0054】具体的には、図 2 に示す様に、シールド型センサ部を ABS 面に平行に切った時の断面の概念図を示す。

【0055】この構成では、基体上に下シールド 1、下

電極層 2、固定する層 3、固定層 4、非磁性層 5、フリー層 6 が順次積層される。その上に図に示したようにパターン化された上電極層 9 が積層される。

【0056】さらにその上に縦バイアス層 7 および上シールド層 10 が積層される。

【0057】当該固定する層 / 固定層 / 非磁性層 / フリー層の部分の磁気抵抗効果膜 20 を構成する。

【0058】この構造では、仮に図中の上電極から下電極へ電流を流したとすると、電流は上電極からフリー層、非磁性層、固定層、固定する層を通過し、下電極層へと流れる。この際、縦バイアス層は電流の流れ方に関与することはない。

【0059】また、縦バイアス層 7 はフリー層 6 上に直接積層されているので、その縦バイアスはフリー層に十分印加されることになる。したがって、この構造を用いることにより、磁気抵抗効果膜部をセンス電流がきちんと流れることと、フリー層に縦バイアスをきちんと印加することを両立することができる。

【0060】ここでは、下シールド 1 上に下電極 2 を積層し、上電極 9 上に上シールド 10 を積層した構造について述べたが、下シールドと下電極との間、または上電極と上シールドとの間に下ギャップ層として絶縁層を配置することも可能である。

【0061】また、下シールドと下電極、上電極と上シールドを兼用にすることもできる。

【0062】更に、反強磁性層と下電極層との間には下地層、フリー層と上電極層との間には上部層を設けることも可能である。

【0063】上記具体例に於ける別の態様としては、基体上に形成された下シールド層 1 と、少なくとも一部が下シールドの上部に形成されるか下シールドと兼用された下電極層 2 と、下電極層 2 上に形成される固定する層 3 / 固定層 4 / 導電非磁性層 5 / フリー層 6 を基本構成とする強磁性トンネル接合膜 20 と、当該フリー層 6 上に形成され、所定のパターンを有して配列されている当該フリー層 6 よりも狭い幅を有する上電極層 9 と、該フリー層 6 上に形成され、所定のパターンを有して配置されていると共に、その一部が当該上電極層 9 上にも配置せしめられている縦バイアス層 7 と、少なくとも一部が縦バイアス層 7 上に形成された上シールド 10 と、からなることを特徴とする磁気抵抗効果ヘッド 30 である。

【0064】次に、本発明に係る当該磁気抵抗効果ヘッド 30 の第 3 の具体例を図 3 を参照しながら説明する。

【0065】即ち、基体上に形成された下シールド層 1 と、少なくとも一部が下シールド層 1 上部に形成されるか下シールド層と兼用された下電極層 2 と、当該下電極層 2 上に形成され、所定のパターンを有して配置されている縦バイアス層 7、少なくとも一部が当該下電極層 2 上に形成されていると共に、他の部分が当該縦バイアス層 7 の上に形成されているフリー層 6 と、当該フリー層

6 上に形成されている非磁性層 5 / 固定層 4 / 固定する層 3 を基本構成とする強磁性トンネル接合膜 20 と、当該フリー層 6 の少なくとも一部の上に形成され、且つ当該強磁性トンネル接合膜 20 と接触する様にパターン化されている絶縁層 8 と、当該固定する層 4 上に接している上電極層 9 と、少なくとも一部が上電極層上に形成されるか、上電極層と兼用された上シールドと、からなる磁気抵抗効果ヘッド 30 が示されている。

【0066】本発明に係る磁気抵抗効果ヘッド 30 の第 3 に係る構成を図 3 を参照しながら詳細に説明する。

【0067】即ち、図 3 には、シールド型センサ部を A B S 面の面に平行に切った時の断面の概念図を示す。

【0068】この構成では、基体上に下シールド層 1 および下電極層 2 が積層される。その上にフリー層 6 及び非磁性層 5 が積層される。非磁性層 5 上の左右の縦バイアス層 7 の間の部分に、固定層 4 / 固定する層 3 / 上電極 5 が積層されこれらは図のようにパターン化される。

【0069】パターン化された固定層 / 固定する層 / 上電極の左右には絶縁層 8 が配置される。さらにその上に上電極 9、9' および上シールド層 10 が積層される。

【0070】下地層 / 固定する層 3 / 固定層 4 / 非磁性層 5 / フリー層 6 の部分が磁気抵抗効果膜 20 である。この構造では、仮に図中の上電極から下電極へ電流を流したとすると、電流は上電極 9 から固定する層 3、固定層 4、非磁性層 5、フリー層 6 を通過し、下電極層 2 へと流れる。

【0071】この際、縦バイアス層は電流の流れ方に関与することはない。また、縦バイアス層 7 はフリー層 6 上に直接積層されているので、その縦バイアス 7 はフリー層 6 に十分印加されることになる。

【0072】したがって、この構造を用いることにより、磁気抵抗効果膜部をセンス電流がきちんと流れることと、フリー層 6 に縦バイアス 7 をきちんと印加することを両立することができる。

【0073】ここでは、下シールド層 1 上に下電極 2 を積層し、上電極 9、9' 上に上シールド 10 を積層した構造について述べたが、下シールドと下電極との間、または上電極と上シールドとの間に下ギャップ層として絶縁層を配置することも可能である。また、下シールドと下電極、上電極と上シールドを兼用にすることもできる。下電極層とフリー層との間には下地層を、反強磁性層と上電極層との間には上部層を設けることもできる。

【0074】上記した本発明に係る当該磁気抵抗効果ヘッド 30 の他の具体例としては、基体上に形成された下シールド層と、少なくとも一部が下シールド上部に形成されるか下シールドと兼用された下電極層と、当該下電極層上に形成され、所定のパターンを有して配置されている縦バイアス層、少なくとも一部が当該下電極層上に形成されていると共に、他の部分が当該縦バイアス層の上に形成されているフリー層と、当該フリー層上に

形成されている導電性非磁性層 / 固定層 / 固定する層を基本構成とする磁気抵抗効果膜 20 と、当該フリー層の少なくとも一部の上に形成され、且つ当該強磁性トンネル接合膜と接触する様にパターン化されている絶縁層と、当該固定する層上に接している上電極層と、少なくとも一部が上電極層上に形成されるか、上電極層と兼用された上シールドと、からなる磁気抵抗効果ヘッド 30 である。

【0075】尚、上記した本発明に係る第 3 の具体例に於いては、当該磁気抵抗効果ヘッド 30 は、当該強磁性トンネル接合膜、若しくは磁気抵抗効果膜 20 に平行なヘッド上方位置から見た平面図において、上電極 9 のすべてが下電極 2 の上部に形成されていることが望ましい。

【0076】尚、図 4 は図 3 のバリエーションであるところのシールド型センサ部を A B S 面に平行に切った時の断面の概念図である。

【0077】図 3 ではフリー層及び非磁性層は縦バイアス層の上に長く重なるように存在していたが、この構造の場合は、ほぼ縦バイアス膜がとぎれているあたりで終わっている。

【0078】この構造では、仮に図中の上電極から下電極へ電流を流したとすると、電流は上電極から固定させる層、固定層、非磁性層、フリー層を通過し、下電極層へと流れる。

【0079】この際、縦バイアス層は電流の流れ方に関与することはない。また、縦バイアス層はフリー層上に直接積層されているので、その縦バイアスはフリー層に十分印加されることになる。

【0080】したがって、この構造を用いることにより、磁気抵抗効果膜部をセンス電流がきちんと流れることと、フリー層に縦バイアスをきちんと印加することを両立することができる。

【0081】さらに、この構造の利点は縦バイアスと磁気抵抗効果膜との間の段差をフリー層および縦バイアス層で埋め込むことができ、素子を平坦に作成することができる点である。

【0082】更に、素子表面が平坦であるとその上に作成する PR 形状のばらつきが少なくなるので、結果としてパターン形状を再現良く作成することができる。

【0083】ここでは、下シールド上に下電極を積層し、上電極上に上シールドを積層した構造について述べたが、下シールドと下電極との間、または上電極と上シールドとの間に下ギャップ層として絶縁層を配置することも可能である。

【0084】また、下シールドと下電極、上電極と上シールドを兼用にすることもできる。

【0085】下電極層とフリー層との間には下地層を、反強磁性層と上電極層との間には上部層を設けることもできる。

【0086】図5はやはり図3のバリエーションであるところのシールド型センサ部をABS面に平行に切った時の断面の概念図である。

【0087】フリー層および非磁性層は縦バイアス層の上部に少し重なってはいるが、途中で切れた構造になっている。この方法では図3の場合に遜色無い特性を得ることができる。

【0088】図6はやはり図3のバリエーションであり、フリー層及び非磁性層は固定層及び固定させる層とほぼ同じ位置でパターン化されている。

【0089】やはり、図3と遜色無い特性を得ることができる。更に、本発明に係る磁気抵抗効果ヘッド30の第4の具体例に係る構成を図7を参照しながら詳細に説明する。

【0090】即ち、図7には、シールド型センサ部をABS面の面に平行に切った時の断面の概念図が示されており、図中、基体上に形成された下シールド層1と、少なくとも一部が下シールド層1の上部に形成されるか、下シールド層1と兼用された下電極層2と、当該下電極層2上に形成されたフリー層6と、当該フリー層6上に、所定のパターンを有して配置されている縦バイアス層7と、当該縦バイアス層7と接しているフリー層6／非磁性層であるバリア層5／固定層4／固定する層3を基本構成とする強磁性トンネル接合膜或いは磁気抵抗効果膜20と、当該フリー層6及び当該縦バイアス層7の少なくとも一部の上に所定のパターンを有して配置されている絶縁層8と、当該固定する層3上に形成され、少なくとも一部が固定する層3に接している上電極層9と、少なくとも一部が上電極層9の上部に形成されるか、上電極層9と兼用された上シールド10と、から構成された磁気抵抗効果ヘッド30が示されている。

【0091】上記した本発明に係る磁気抵抗効果ヘッド30についてより詳細に説明するならば、図7に示す様に、基体上に下シールド1、下電極層2、およびフリー層6が積層される。その上に図のようにパターン化された縦バイアス層7が積層される。

【0092】フリー層6上の左右の縦バイアス層7の間の部分に、非磁性層であるバリア層5／固定層4／固定する層3／上電極層9が積層されこれらは図7のようにパターン化される。

【0093】又、下地層／フリー層6／非磁性層であるバリア層5／固定層4／固定する層3の部分が磁気抵抗効果膜、或いは強磁性トンネル接合膜20である。

【0094】この構造では、仮に図中の上電極から下電極へ電流を流したとすると、電流は上電極から固定する層、固定層、非磁性層、フリー層を通過し、下電極層へと流れる。

【0095】この際、縦バイアス層は電流の流れ方に関与することはない。また、縦バイアス層はフリー層上に直接積層されているので、その縦バイアスはフリー層に

十分印加されることになる。

【0096】したがって、この構造を用いることにより、磁気抵抗効果膜部をセンス電流がきちんと流れることと、フリー層に縦バイアスをきちんと印加することを両立することができる。

【0097】ここでは、下シールド上に下電極を積層した構造について述べたが、下シールドと下電極との間に下ギャップ層として絶縁層を配置することも可能である。また、下シールドと下電極を兼用にすることもできる。下電極層とフリー層との間には下地層を設けることもできる。

【0098】又、本発明に係る磁気抵抗効果ヘッド30の第5の具体例に係る構成を図8を参照しながら詳細に説明する。

【0099】即ち、図8には、シールド型センサ部をABS面の面に平行に切った時の断面の概念図が示されており、図中、基体上に形成された下シールド層1と、少なくとも一部が下シールド層1の上部に形成されるか下シールド層1と兼用された下電極層2と、当該下電極層2上に形成された、固定する層3／固定層4／非磁性層5／フリー層6を基本構成とする強磁性トンネル接合膜或いは磁気抵抗効果膜20と、少なくとも一部が当該非磁性層5に接しており、且つ他の部分が当該フリー層6に接している絶縁層8と、当該絶縁層8上に形成され且つ当該フリー層6にその少なくとも一部が接している縦バイアス層7と、少なくとも一部が当該フリー層6に接している上電極層9と、少なくとも一部が上電極層9の上部に形成されるか、上電極層9と兼用された上シールド10と、からなる磁気抵抗効果ヘッド30である。

【0100】上記した本発明に係る磁気抵抗効果ヘッド30についてより詳細に説明するならば、図8に示す様に、シールド型センサ部をABS面に平行に切った時の断面で見ると、基体上に下シールド1、下電極2、反強磁性層からなる固定する層3、固定層4および非磁性層5が順次積層されている。

【0101】その上に図のようにパターン化されたフリー層を積層する。つまり、フリー層6の左右には絶縁層8および縦バイアス層7がその端部がフリー層6に接するように配置されている。

【0102】さらにその上部には上電極層9および上シールド層10が積層される。

【0103】又、図示してはいない下地層／固定する層3／固定層4／非磁性層5／フリー層6の部分が磁気抵抗効果膜或いは磁気抵抗効果膜20である。

【0104】この構造では、仮に図中の上電極から下電極へ電流を流したとすると、電流は上電極からフリー層、非磁性層、固定層、固定する層を順次通過し、下電極層へと流れる。この際、縦バイアス層は絶縁層および非磁性層により固定層以下の層と電氣的に絶縁されているので、電流の流れ方に関与することはない。

【0105】また、縦バイアス層はフリー層に接しているので、その縦バイアスはフリー層に十分印加されることになる。

【0106】したがって、この構造を用いることにより、磁気抵抗効果膜部をセンス電流がきちんと流れることと、フリー層に縦バイアスをきちんと印加することを両立することができる。

【0107】ここでは、下シールド上に下電極を積層し、上電極上に上シールドを積層した構造について述べたが、下シールドと下電極との間、または上電極と上シールドとの間に下ギャップ層として絶縁層を配置することも可能である。また、下シールドと下電極、上電極と上シールドを兼用にすることもできる。

【0108】下電極層とフリー層との間には下地層を、反強磁性層と上電極層との間には上部層を設けることもできる。また、ここでは磁気抵抗効果膜のうちフリー層のみをパターン化した場合について示したが、少なくともフリー層がパターン化されていればよく、それ以下の部分はどこまでパターン化するかは適宜選択することができる。

【0109】次に、本発明に係る磁気抵抗効果ヘッド30の第6の具体例に係る構成を図9を参照しながら詳細に説明する。

【0110】即ち、図9には、シールド型センサ部をABS面の面に平行に切った時の断面の概念図が示されており、図中、基体上に形成された下シールド層1と、少なくとも一部が下シールド層1の上部に形成されるか下シールド層1と兼用された下電極層2と、当該下電極層2上に形成された、固定する層3／固定層4／非磁性層5／フリー層6を基本構成とする強磁性トンネル接合膜或いは磁気抵抗効果膜20と、当該非磁性層5上に形成されると共に、一部が当該フリー層6に接している絶縁層8と、界面制御層11を介するかあるいは直接に、少なくとも一部がフリー層6上に接して配置されている縦バイアス層7と、少なくとも一部が当該縦バイアス層7に接している上電極層9と、少なくとも一部が当該上電極層9の上部に形成されるか、上電極層9と兼用された上シールド10と、からなること磁気抵抗効果ヘッド30が示されている。

【0111】上記した本発明に係る磁気抵抗効果ヘッド30についてより詳細に説明するならば、図9に示す様に、基体上に下シールド1、下電極2、固定する層3、固定層4および非磁性層5が順次積層される。

【0112】その上に図のようにパターン化されたフリー層6／界面制御層11／縦バイアス層7を積層する。

【0113】本具体例に於ける当該界面制御層11は、電気的には、導電性を有しているが、磁界を制御する機能を有するものであり、従って、当該フリー層6と当該縦バイアス層7との間の導通性は確保する事が出来る。

【0114】本発明に於ける当該縦バイアス7は界面制

御層11により印加される大きさがコントロールされた後に、フリー層6に印加される。

【0115】フリー層6の左右には絶縁層が配置されている。さらにその上部には上電極層9および上シールド層10が積層される。

【0116】図示していない下地層／固定する層3／固定層4／非磁性層5／フリー層6の部分が磁気抵抗効果膜若しくは強磁性トンネル接合膜である。

【0117】この構造では、仮に図中の上電極から下電極へ電流を流したとすると、電流は上電極から縦バイアス層、界面制御層、フリー層、非磁性層、固定層、固定する層を順次通過し、下電極層へと流れる。この際、酸化物縦バイアス層は絶縁層なので、電流の流れ方に関与することはない。

【0118】また、縦バイアス層はフリー層に接しているので、その縦バイアスはフリー層に十分印加されることになる。したがって、この構造を用いることにより、磁気抵抗効果膜部をセンス電流がきちんと流れることと、フリー層に縦バイアスをきちんと印加することを両立することができる。

【0119】ここでは、下シールド上に下電極を積層し、上電極上に上シールドを積層した構造について述べたが、下シールドと下電極との間、または上電極と上シールドとの間に下ギャップ層として絶縁層を配置することも可能である。

【0120】また、下シールドと下電極、上電極と上シールドを兼用にすることもできる。下電極層とフリー層との間には下地層を、反強磁性層と上電極層との間には上部層を設けることもできる。縦バイアス材料に適当な材料を選べば、界面制御層を省略することもできる。

【0121】また、ここでは磁気抵抗効果膜のうちフリー層のみをパターン化した場合について示したが、少なくともフリー層がパターン化されていればよく、それ以下の部分はどこまでパターン化するかは適宜選択することができる。

【0122】次に、本発明に係る磁気抵抗効果ヘッド30の第7の具体例に係る構成を図10を参照しながら詳細に説明する。

【0123】即ち、図10には、シールド型センサ部をABS面の面に平行に切った時の断面の概念図が示されており、図中、基体上に形成された下シールド層1と、少なくとも一部が下シールド1の上部に形成されるか下シールド1と兼用された下電極層2と、当該下電極層2上に形成された、固定する層3／固定層4／非磁性層5／フリー層6を基本構成とする強磁性トンネル接合膜若しくは磁気抵抗効果膜20と、少なくとも一部が当該非磁性層5に接しており、且つ他の部分が当該フリー層6に接している酸化物縦バイアス層7と、少なくとも一部が当該フリー層6に接している上電極層9と、少なくとも一部が上電極層9の上部に形成されるか、上電極層9

と兼用された上シールド 10 と、からなる磁気抵抗効果ヘッド 30 が示されている。

【0124】上記した本発明に係る磁気抵抗効果ヘッド 30 についてより詳細に説明するならば、図 10 に示す様に、基体上に下シールド 1、下電極 2、固定する層を構成する反強磁性層 3、固定層 4 および非磁性層 5 が順次積層される。

【0125】その上に図のようにパターン化されたフリー層 6 を積層する。フリー層 6 の左右には酸化物縦バイアス層 7 がその端部がフリー層 6 に接するように配置されている。

【0126】当該酸化物縦バイアス層は、絶縁層の機能を有しているものである。

【0127】さらにその上部には上電極層 9 および上シールド層 10 が積層される。

【0128】図示されてはいない下地層／固定する層 3／固定層 4／非磁性層 5／フリー層 6 の部分が磁気抵抗効果膜或いは強磁性トンネル接合膜 20 である。

【0129】この構造では、仮に図中の上電極から下電極へ電流を流したとすると、電流は上電極からフリー層、非磁性層、固定層、固定する層を順次通過し、下電極層へと流れる。この際、酸化物縦バイアス層は絶縁層なので、電流の流れ方に関与することはない。

【0130】また、縦バイアス層はフリー層に接しているので、その縦バイアスはフリー層に十分印加されることになる。したがって、この構造を用いることにより、磁気抵抗効果膜部をセンス電流がきちんと流れることと、フリー層に縦バイアスをきちんと印加することを両立することができる。

【0131】ここでは、下シールド上に下電極を積層し、上電極上に上シールドを積層した構造について述べたが、下シールドと下電極との間、または上電極と上シールドとの間に下ギャップ層として絶縁層を配置することも可能である。また、下シールドと下電極、上電極と上シールドを兼用にすることもできる。

【0132】下電極層とフリー層との間には下地層を、反強磁性層と上電極層との間には上部層を設けることもできる。また、ここでは磁気抵抗効果膜のうちフリー層のみをパターン化した場合について示したが、少なくともフリー層がパターン化されていればよく、それ以下の部分はどこまでパターン化するかは適宜選択することができる。

【0133】上記した図 1 から図 10 の各具体例に於けるそれぞれの構造に対応する代表的な素子平面概念図を、図 14 から図 20 に示した。ここでは、縦バイアス形状として上から見て長方形のものを示したが、実際には種々の形状のものをを用いることができる。

【0134】即ち、図 14 ～ 図 20 の平面図は、本発明に係る当該磁気抵抗効果ヘッドを上部から見た平面図であって、部分的にそれぞれの積層構造が異なっている事

を示している。

【0135】例えば、図 14 に於ける区域 A の部分は、シールド層 10 の下に直接下電極層部が配置されている事を示し、又区域 B は、表面に絶縁層 8 が存在し、その下に非磁性層 5、固定層 4、固定する層 3、下電極 2 及び下シールド層 1 がこの順に堆積せしめられている事を意味しているものである。

【0136】同様に、区域 C に於いては、最表面が上シールド層 10 で構成されていると同時にその下に上電極層 9、絶縁層 8、縦バイアス層 7、フリー層 6、非磁性層 5、固定層 4、固定する層 3、下電極 2 及び下シールド層 1 がこの順に堆積せしめられている事を意味しているものである。

【0137】又、区域 D は、最表面が上シールド層 10 で構成されていると同時にその下に上電極層 9、フリー層 6、非磁性層 5、固定層 4、固定する層 3、下電極 2 及び下シールド層 1 がこの順に堆積せしめられている事を意味しているものである。

【0138】更に、区域 E に於いては、最表面が上シールド層 10 で構成されていると同時にその下に上電極層 9、絶縁層 8、非磁性層 5、固定層 4、固定する層 3、下電極 2 及び下シールド層 1 がこの順に堆積せしめられている事を意味しているものである。

【0139】以下図 15 ～ 図 20 のそれぞれのヘッドの構造に関する平面図も同様の構成を説明するものであって、各具体例に於てそれぞれ構成が異なっているが、その構成の内容は、各図の説明を参照されたい。

【0140】又、上記した本発明に係る磁気抵抗効果ヘッドは、シールド型磁気抵抗効果ヘッドを構成する具体例として説明したが、本発明に係る当該強磁性トンネル接合膜或いは磁気抵抗効果膜は、ヨーク型の磁気抵抗効果ヘッドにも使用しえるものである事は言うまでもなく、当該磁気抵抗効果ヘッドに於ける電流の流し方を公知の方法に従って変更するのみで容易に転用しえるものである。

【0141】又、本発明に係るその他の態様としては、上記した各具体例に示した磁気抵抗効果センサと、磁気抵抗センサを通る電流を発生せしめる手段と、検出される磁界の関数として上記磁気抵抗センサの抵抗率変化を検出する手段とを備えた磁気抵抗検出システムであり、又更に別の態様としては、データ記録のための複数のトラックを有する磁気記憶媒体と、磁気記憶媒体上にデータを記憶させるための磁気記録システムと、請求項 20 記載の磁気抵抗検出システムと、磁気記録システムおよび磁気抵抗検出システムを前記磁気記憶媒体の選択されたトラックへ移動させるために、磁気記録システム及び磁気抵抗変換システムとに結合されたアクチュエータ手段とからなる磁気記憶システムである。

【0142】以下に本発明に於いて使用される各種層に使用しうる材料について説明する。

【0143】即ち、上記した様に本発明に係る磁気抵抗効果ヘッド30の断面構造としては、少なくとも7種類の具体例を使用しえるものであり、以下にそれぞれの構造の詳細、および作成手順の代表的な例、および使用材料に記述する。

【0144】また、記録再生ヘッドへの適用例についても記述する。

【0145】最初に上記した7種類の具体例に於いて使用される各層を構成する材料として共通的に使用しえる有力な候補となる材料を以下に説明する。

【0146】基 体

アルチック、SiC、アルミナ、アルチック／アルミナ、SiC／アルミナ

下シールド層

NiFe、CoZr、またはCoFeB、CoZrMo、CoZrNb、CoZr、CoZrTa、CoHf、CoTa、CoTaHf、CoNbHf、CoZrNb、CoHfPd、CoTaZrNb、CoZrMoNi合金、FeAlSi、窒化鉄系材料、MnZnフェライト、NiZnフェライト、MgZnフェライトからなる単体、多層膜、および混合物

下電極

Au、Ag、Cu、Mo、W、Y、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Taからなる単体、多層膜、及び混合物

界面制御層

Al酸化物、Si酸化物、窒化アルミニウム、窒化シリコン、ダイヤモンドライクカーボン、Au、Ag、Cu、Mo、W、Y、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta等からなる単体、多層膜、および混合物

上電極層

Au、Ag、Cu、Mo、W、Y、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Taからなる単体、多層膜、および混合物

上シールド層

NiFe、CoZr、またはCoFeB、CoZrMo、CoZrNb、CoZr、CoZrTa、CoHf、CoTa、CoTaHf、CoNbHf、CoZrNb、CoHfPd、CoTaZrNb、CoZrMoNi合金、FeAlSi、窒化鉄系材料、MnZnフェライト、NiZnフェライト、MgZnフェライトからなる単体、多層膜、および混合物

絶縁層

Al酸化物、Si酸化物、窒化アルミニウム、窒化シリコン、ダイヤモンドライクカーボンからなる単体、多層膜、および混合物

下ギャップ層

Al酸化物、Si酸化物、窒化アルミニウム、窒化シリコン、ダイヤモンドライクカーボンからなる単体、多層膜、および混合物

上ギャップ層

Al酸化物、Si酸化物、窒化アルミニウム、窒化シリコ

ン、ダイヤモンドライクカーボンからなる単体、多層膜、および混合物

上部層

Au、Ag、Cu、Mo、W、Y、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Taからなる単体、多層膜、および混合物

縦バイアス層

CoCrPt、CoCr、CoPt、CoCrTa、FeMn、NiMn、Ni酸化物、NiCo酸化物、Fe酸化物、NiFe酸化物、IrMn、PtMn、PtPdMn、ReMn、Coフェライト、Baフェライトからなる単体、多層膜、および混合物

【0147】又、本発明に於ける当該磁気抵抗効果ヘッドに使用される磁気抵抗効果膜の構成の例としては以下の構成のものを用いることができる。

【0148】即ち、例えば、

・基体／下地層／フリー層／第1MRエンハンス層／非磁性層／第2MRエンハンス層／固定層／固定する層／保護層

・基体／下地層／固定する層／固定層／第1MRエンハンス層／非磁性層／第2MRエンハンス層／フリー層／保護層

・基体／（下地層／フリー層／第1MRエンハンス層／非磁性層／第2MRエンハンス層／固定層／固定する層／保護層）をN回繰り返し積層した層

・基体／（下地層／固定する層／固定層／第1MRエンハンス層／非磁性層／第2MRエンハンス層／フリー層／保護層）をN回繰り返し積層させた層

・基体／下地層／第1固定する層／第1固定層／第1MRエンハンス層／非磁性層／第2MRエンハンス層／フリー層／第3MRエンハンス層／非磁性層／第4MRエンハンス層／第2固定層／第2固定する層／保護層

・基体／下地層／（固定層／第1MRエンハンス層／非磁性層／第2MRエンハンス層／フリー層／非磁性層／）をN回繰り返し積層した層（Nは1以上）／固定層／保護層

・基体／下地層／（フリー層／第1MRエンハンス層／非磁性層／第2MRエンハンス層／固定層／非磁性層／）をN回繰り返し積層した層（Nは1以上）／フリー層／保護層

・基体／下地層／固定層／第1MRエンハンス層／非磁性層／第2MRエンハンス層／フリー層／保護層

・基体／下地層／フリー層／第1MRエンハンス層／非磁性層／第2MRエンハンス層／固定層／保護層

【0149】更に、本発明に於ける当該磁気抵抗効果ヘッドに於いて使用される下地層としては、金属、酸化物、窒化物からなる単層膜、混合物膜、または多層膜を用いる事が可能である。

【0150】具体的には、Ta、Hf、Zr、W、Cr、Ti、Mo、Pt、Ni、Ir、Cu、Ag、Co、Zn、Ru、Rh、Re、Au、Os、Pd、N



b、Vおよびこれらの材料の酸化物あるいは窒化物、からなる単層膜、混合物膜、または多層膜を用いる。

【0151】添加元素として、Ta、Hf、Zr、W、Cr、Ti、Mo、Pt、Ni、Ir、Cu、Ag、Co、Zn、Ru、Rh、Re、Au、Os、Pd、Nb、Vを用いることもできる。

【0152】下地層は用いない場合もある。

【0153】一方、本発明に於ける当該磁気抵抗効果ヘッドに於いて使用されるフリー層としては、NiFe、CoFe、NiFeCo、FeCo、CoFeB、CoZrMo、CoZrNb、CoZr、CoZrTa、CoHf、CoTa、CoTaHf、CoNbHf、CoZrNb、CoHfPd、CoTaZrNb、CoZrMoNi合金またはアモルファス磁性材料を用いることができる。

【0154】更に、本発明に於ける当該磁気抵抗効果ヘッドに於いて使用される非磁性層の材料の候補としては、磁気抵抗効果膜が強磁性トンネル接合膜の場合と非磁性層に導電非磁性層を用いた磁気抵抗効果膜との場合で候補となる材料が異なる。

【0155】例えば、強磁性トンネル接合膜の非磁性層（バリア層）としては、酸化物、窒化物、酸化物と窒化物の混合物もしくは金属／酸化物2層膜、金属／窒化物2層膜、金属／（酸化物と窒化物との混合物）2層膜を用いる。

【0156】又、Ti、V、Cr、Co、Cu、Zn、Y、Zr、Nb、Mo、Tc、Ru、Rh、Pd、Ag、Hf、Ta、W、Re、Os、Ir、Pt、Au、Si、Al、Ti、Ta、Pt、Ni、Co、Re、Vの酸化物および窒化物の単体、多層膜、混合物、またはこれらとTi、V、Cr、Co、Cu、Zn、Y、Zr、Nb、Mo、Tc、Ru、Rh、Pd、Ag、Hf、Ta、W、Re、Os、Ir、Pt、Au、Si、Al、Ti、Ta、Pt、Ni、Co、Re、Vの酸化物および窒化物の単体、多層膜、混合物との積層膜が有力な候補となる。

【0157】非磁性層に導電非磁性層を用いた磁気抵抗効果膜の場合は、Ti、V、Cr、Co、Cu、Zn、Y、Zr、Nb、Mo、Tc、Ru、Rh、Pd、Ag、Hf、Ta、W、Re、Os、Ir、Pt、Au、Si、Al、Ti、Ta、Pt、Ni、Co、Re、Vの単体、多層膜、混合物、またはこれらとTi、V、Cr、Co、Cu、Zn、Y、Zr、Nb、Mo、Tc、Ru、Rh、Pd、Ag、Hf、Ta、W、Re、Os、Ir、Pt、Au、Si、Al、Ti、Ta、Pt、Ni、Co、Re、Vの単体、多層膜、混合物との積層膜が有力な候補となる。

【0158】第1および第2MRエンハンス層としてはCo、NiFeCo、FeCo等、またはCoFeB、CoZrMo、CoZrNb、CoZr、CoZrT

a、CoHf、CoTa、CoTaHf、CoNbHf、CoZrNb、CoHfPd、CoTaZrNb、CoZrMoNi合金またはアモルファス磁性材料を用いる。MRエンハンス層を用いない場合は、用いた場合に比べて若干MR比が低下するが、用いない分だけ作製に要する工程数は低減する。

【0159】本発明に於いて使用される固定層としては、NiFe、CoFe、NiFeCo、FeCo、CoFeB、CoZrMo、CoZrNb、CoZr、CoZrTa、CoHf、CoTa、CoTaHf、CoNbHf、CoZrNb、CoHfPd、CoTaZrNb、CoZrMoNi合金またはアモルファス磁性材料を用いることができる。

【0160】または、これらと、Ti、V、Cr、Co、Cu、Zn、Y、Zr、Nb、Mo、Tc、Ru、Rh、Pd、Ag、Hf、Ta、W、Re、Os、Ir、Pt、Au、Si、Al、Ti、Ta、Pt、Ni、Co、Re、Vをベースとするグループからなる単体、合金、または積層膜とを、組み合わせた積層膜を用いることも可能である。

【0161】Co/Ru/Co、CoFe/Ru/CoFe、CoFeNi/Ru/CoFeNi、Co/Cr/Co、CoFe/Cr/CoFe、CoFeNi/Cr/CoFeNiは有力な候補である。固定する層としては、FeMn、NiMn、IrMn、RhMn、PtPdMn、ReMn、PtMn、PtCrMn、CrMn、CrAl、TbCo、Ni酸化物、Fe酸化物、Ni酸化物とCo酸化物の混合物、Ni酸化物とFe酸化物の混合物、Ni酸化物/Co酸化物2層膜、Ni酸化物/Fe酸化物2層膜、CoCr、CoCrPt、CoCrTa、PtCoなどを用いることができる。

【0162】PtMnもしくはPtMnにTi、V、Cr、Co、Cu、Zn、Y、Zr、Nb、Mo、Tc、Ru、Rh、Pd、Ag、Hf、Ta、W、Re、Os、Ir、Pt、Au、Si、Al、Ti、Taを添加した材料は有力な候補である。

【0163】又、当該保護層としては、酸化物、窒化物、酸化物と窒化物の混合物もしくは金属／酸化物2層膜、金属／窒化物2層膜、金属／（酸化物と窒化物との混合物）2層膜、を用いる。

【0164】Ti、V、Cr、Co、Cu、Zn、Y、Zr、Nb、Mo、Tc、Ru、Rh、Pd、Ag、Hf、Ta、W、Re、Os、Ir、Pt、Au、Si、Al、Ti、Ta、Pt、Ni、Co、Re、Vの酸化物および窒化物の単体、多層膜、混合物、またはこれらとTi、V、Cr、Co、Cu、Zn、Y、Zr、Nb、Mo、Tc、Ru、Rh、Pd、Ag、Hf、Ta、W、Re、Os、Ir、Pt、Au、Si、Al、Ti、Ta、Pt、Ni、Co、Re、Vの酸化物および窒化物の単体、多層膜、混合物との積層膜が有力な候

補となる。保護層は用いない場合もある。

【0165】次に、図1から図10に代表例を示した構造の各ヘッドの代表的な作成手順を示す。

【0166】図21(A)～(H)は図1に示した構造のヘッドの作成手順の例である。

【0167】基体上に下シールド1、下電極2、磁気抵抗効果膜20を順次形成する。その上にステンシルPRを形成し、縦バイアス7及び絶縁層8を成膜した後にリフトオフする。

【0168】更に、PRを形成し、非磁性層5までミリングした後、絶縁層8を成膜する。

【0169】リフトオフした後に、下電極2が露出するまで絶縁層部8を穴あけし、上電極9及び上シールド10を形成する。

【0170】図22(A)～(H)は、図2に示した構造のヘッドの作成手順の例である。

【0171】基体上に下シールド1、下電極2、磁気抵抗効果膜20を順次形成する。

【0172】その上にステンシルPRを形成し、非磁性層5までミリングした後に、絶縁層8を成膜し、リフトオフする。

【0173】PRを形成し、上電極10を成膜した後にリフトオフする。PRを形成し、縦バイアス7及び絶縁層8を成膜した後にリフトオフする。

【0174】下電極2が露出するまで絶縁層部8に穴あけし、上シールド10を形成する。

【0175】一方、図23(A)～(I)は、図3に示した構造のヘッドの作成手順の例である。

【0176】基体上に下シールド1、下電極2を順次形成する。その上にステンシルPRを形成し、縦バイアス7を成膜した後にリフトオフする。

【0177】更に、磁気抵抗効果膜20、上電極9を成膜した後に、PRを形成し、非磁性層までミリングした。

【0178】その後、絶縁層8を成膜し、リフトオフした後に、下電極2が露出するまで絶縁層部8に穴あけし、上シールド10を形成する。

【0179】尚、図4～図6に示した構造のヘッドの作成方法は図3の場合に準ずる。

【0180】更に、図24(A)～(H)は、図7に示した構造のヘッドの作成手順の例である。

【0181】即ち、基体上に下シールド1、下電極2、磁気抵抗効果膜20、上電極9を順次形成する。

【0182】その上にステンシルPRを形成し、フリー層6までミリングした後にPR除去をする。

【0183】更に、PRを形成し、縦バイアス層7を成膜した後、リフトオフする。更に、絶縁層8を成膜し、ケミカルメカニカルポリッシング(CMP)により絶縁層8を上電極9が露出するところまで削る。又、下電極2が露出するまで絶縁層部8を穴あけし、上シールド1

0を形成する。

【0184】次に、図25(A)～(H)は、図8に示した構造のヘッドの作成手順の例である。

【0185】つまり、基体上に下シールド1、下電極2、磁気抵抗効果膜20を順次形成する。その上にステンシルPRを形成し、非磁性層5までミリングした後に、絶縁層8および縦バイアス層7を順次成膜し、リフトオフする。

【0186】更に、PRを形成し、絶縁層8までミリングした後に、PRを除去する。下電極2が露出するまで絶縁層部8を穴あけし、上シールド10を形成する。

【0187】一方、図26(A)～(F)は、図10に示した構造のヘッドの作成手順の例である。

【0188】即ち、基体上に下シールド1、下電極2、磁気抵抗効果膜20、界面制御層11、縦バイアス層7を順次形成する。その上にステンシルPRを形成し、非磁性層5までミリングした後に、絶縁層8を成膜し、リフトオフする。

【0189】下電極2が露出するまで絶縁層部8を穴あけし、上電極9及び上シールド10を形成する。

【0190】尚、図10に示した磁気抵抗効果ヘッド構造の作成手順は図25に示した図8の構造の場合と同じであるので、詳しい説明は省略する。

【0191】次に、本発明の作成手順を、実際の試作に近い素子形状で、図27乃至図28を参照しながらより詳細に記述する。

【0192】ここでは図3に相当する構造の場合を例に記述することにする。

【0193】工程1：下シールドを成膜し、PR形成及びミリングまたはリフトオフにより図27(A)に示される様な形状にパターン化する。(尚、図中太線で囲まれている範囲がこの工程でパターン化された範囲である。以下においても同じ)

【0194】その後、下ギャップおよび下電極を成膜する。

【0195】工程2：PR形成及びミリングにより下電極を、図27(B)に示される様にパターン化する。

【0196】工程3：図27(C)に示される様にリフトオフPRを形成し、下電極厚付け層を成膜し、リフトオフする。

【0197】工程4：縦バイアス層パターン化のためのPRを形成し、図27(D)に示される様な形状にミリングし、PRを除去した後にTMR膜及び上電極層1を成膜する。

【0198】工程5：図27(E)に示される様にTMR膜パターン化のためのPRを形成し、TMR膜をバリア層までミリングした後にPRを除去する。

【0199】工程6：図27(F)に示される様にPRを形成し、バリア層、フリー層、下地層、絶縁層をミリングし、PRを除去する。



【0200】工程7：図28（A）に示される様に上電極2リフトオフ用PRを形成し、上電極2を成膜した後に、リフトオフする。

【0201】工程8：図28（B）に示される様に上電極厚付け層リフトオフ用PRを形成し、厚付け層を成膜した後にリフトオフする。

【0202】工程9：図28（C）に示される様に絶縁厚付け層リフトオフ用PRを形成し、厚付け層を成膜した後にリフトオフする。

【0203】工程10：図28（D）に示される様に上ギャップ層を成膜し、電極穴開け用PRを形成し、電極が露出するまでミリングした後に、PRを除去する。

【0204】工程11：図28（E）に示される様に記録ヘッド部作成を作成する。

【0205】記録ヘッド部はどのような構成のものであってもかまわないので、図中では表示を省略してある。

【0206】次に、基体を適当な大きさに切断加工した後に、図に示したようにABS面が露出するまで基体ごと研磨をする。

【0207】図には描かれていないが、この後装置として組みあがった状態でヘッド動作時に最適な飛行姿勢をとるようにABS面を適当な形状に加工し、サスペンションに組み込み、配線をした後に出荷する。

【0208】ここでは図3の構造の場合のみについて記述したが、図1、図2、図7～図10の構造の場合もほぼ同様の工程で作成する事ができるので、ここでは記述しないが、その概要については図21～図26に記載されている。

【0209】尚、図29は、図28に示す工程11が終了後のヘッドを磁気抵抗効果素子部を含む縦方向に切断した場合の磁気抵抗効果素子近傍の構成を示す断面図である。

【0210】次に、本発明の記録再生ヘッド及び記録再生システムへの適用例を示す。

【0211】図30は本発明を適用した記録再生ヘッド50の概念図である。

【0212】当該ヘッドは、基体42上に再生ヘッド45と、磁極43、コイル41、上磁極44、及び記録ヘッド46とから形成されている。この際上部シールド膜と下部磁性膜とを共通にしても、別に設けてもかまわない。

【0213】このヘッド50により、記録媒体上に信号を書き込み、また、記録媒体から信号を読み取るのである。再生ヘッドの感知部分と、記録ヘッドの磁気ギャップはこのように同一スライダ上に重ねた位置に形成することで、同一トラックに同時に位置決めができる。このヘッドをスライダに加工し、磁気記録再生装置に搭載した。

【0214】又、図31は本発明の磁気抵抗効果素子を用いた磁気記録再生装置50の概念図である。

【0215】ヘッドスライダを兼ねる基板52上に、再生ヘッド51および記録ヘッド50を形成し、これを記録媒体53上に位置決めして再生を行う。

【0216】記録媒体53は回転し、ヘッドスライダは記録媒体53の上を、0.2μm以下の高さ、あるいは接触状態で対抗して相対運動する。

【0217】この機構により、再生ヘッド51は記録媒体53に記録された磁気的信号を、その漏れ磁界54から読み取ることで位置に設定されるのである。

【0218】以下に、本発明に係る当該磁気抵抗効果ヘッドの製造条件の具体例を説明する。

【0219】（1）強磁性トンネル接合ヘッドの場合  
【0220】最初に比較のために、従来例に記載されている図11の構造のヘッドを作成した。この際トンネル接合膜としては、Ta（3nm）／Pt46Mn54（25nm）／Co90Fe10（5）／Ru（0.9）／Co90Fe10（5）／Al酸化物（2nm）／Co90Fe10（2nm）／Ni82Fe18（8）／Ta（3nm）を用いた。

【0221】膜形成後には250℃、5時間の熱処理を成膜時の磁界とは直交する方向に500Oeの磁界を印加しつつ行った。

【0222】ヘッドを構成する各要素としては以下のものを用いた。

【0223】基体…厚さ2mのアルチック上にアルミナを10μm積層したもの

下シールド層…厚さ1μmのCo65Ni12Fe23（組成はat%、以下同じ）

下電極層…Ta（5nm）／Au（60nm）／Ta（5nm）

上電極層…Ta（5nm）／Au（60nm）／Ta（5nm）

上シールド層…厚さ1μmのCo89Zr4Ta4Cr3

絶縁層…厚さ20nmのアルミナ

縦バイアス層…Cr（10nm）／Co74.5Cr10.5Pt15（3636nm）

界面制御層…なし

下ギャップ層…なし

上ギャップ層…なし

上部層…なし

【0224】このヘッドを図30のような記録再生一体型ヘッドに加工およびスライダ加工し、CoCrTa系媒体上にデータを記録再生した。この際、書き込みトラック幅は3μm、書き込みギャップは0.2μm、読み込みトラック幅は2μmとした。

【0225】TMR素子部の加工にはI線を用いたフォトリソ工程、およびミリング工程を用いた。書き込みヘッド部のコイル部作成時のフォトリソ硬化工程は250℃、2時間とした。

【0226】この工程により本来は素子高さ方向を向いていなければならない固定層および固定する層の磁化方向が回転し、磁気抵抗効果素子として正しく動作しなくなったので、再生ヘッド部および記録ヘッド部作成終了後に、200℃、500Oe磁界中、1時間の着磁熱処理を行った。

【0227】この着磁熱処理によるフリー層の磁化容易軸の着磁方向への回転は、磁化曲線からほとんど観測されなかった。

【0228】媒体の保磁力は3.0kOe、MrTは0.35emu/cm<sup>2</sup>とした。試作したヘッドを用いて、再生出力、S/N、再生出力が半減するマーク長（周波数）、ビットエラーレートを測定した。

【0229】測定結果を以下に示す。

【0230】再生出力は3.1mVと大きく、再生出力が半減する記録再生周波数もそれほど悪くないが、S/Nが21dBと低く、ビットエラーレートも1×10<sup>-3</sup>と悪かった。

【0231】これは再生信号にバルクハウゼンノイズが乗っているためであり、ヘッドのR-Hループを測定したところ、フリー層磁化反転のヒステリシスが大きくフリー層の磁壁移動に伴うバルクハウゼンノイズが発生している事が明らかになった。

【0232】図11の構造では、縦バイアス層とフリー層とが絶縁層により隔離されているために、縦バイアスがフリー層に十分印加されず、縦バイアスがバルクハウゼンノイズの低減に寄与しなかったためと考察された。

【0233】再生出力…3.1mV

再生出力が半減する記録再生周波数…170KFCI

S/N…21dB

ビットエラーレート…1×10<sup>-3</sup>

【0234】次に、本発明の実施例として、図1～図10の構造のヘッドを作成した。膜形成後には250℃、5時間の熱処理を成膜時の磁界とは直交する方向に500Oeの磁界を印加しつつ行った。ヘッドの各構成要素としては以下のものを用いた。

【0235】トンネル接合膜…Ta(3nm)/Pt46Mn54(25nm)/Co90Fe10(5)/Ru(0.9)/Co90Fe10(5)/Al酸化物(2nm)/Co90Fe10(2nm)/Ni82Fe18/(8)/Ta(3nm)

基体…厚さ2mmのアルチック上にアルミナを10μm積層したものを使用した。

【0236】下シールド層…厚さ1μmのCo65Ni12Fe23（組成はat%、以下同じ）

下電極層…Ta(5nm)/Au(60nm)/Ta(5nm)

上電極層…Ta(5nm)/Au(60nm)/Ta(5nm)

上シールド層…厚さ1μmのCo89Zr4Ta4Cr

3

絶縁層…厚さ20nmのアルミナ

縦バイアス層…Cr(10nm)/Co74.5Cr10.5Pt15(36nm)（図12の構成の場合を除く）、

Baフェライト(50nm)（図10の構成の場合）

界面制御層…Cu(1.2nm)（図9の構成の場合のみ適用）

下ギャップ層…なし

上ギャップ層…なし

上部層…なし

【0237】このヘッドを図30のような記録再生一体型ヘッドに加工およびスライダ加工し、CoCrTa系媒体上にデータを記録再生した。この際、書き込みトラック幅は3μm、書き込みギャップは0.2μm、読み込みトラック幅は2μmとした。TMR素子部の加工にはI線を用いたフォトリソ工程、およびミリング工程を用いた。

【0238】書き込みヘッド部のコイル部作成時のフォトリソ硬化工程は250℃、2時間とした。

【0239】この工程により本来は素子高さ方向を向いていなければならない固定層および固定する層の磁化方向が回転し、磁気抵抗効果素子として正しく動作しなくなったので、再生ヘッド部および記録ヘッド部作成終了後に、200℃、500Oe磁界中、1時間の着磁熱処理を行った。

【0240】この着磁熱処理によるフリー層の磁化容易軸の着磁方向への回転は、磁化曲線からほとんど観測されなかった。

【0241】媒体の保磁力は3.0kOe、MrTは0.35emu/cm<sup>2</sup>とした。試作したヘッドを用いて、再生出力、S/N、再生出力が半減するマーク長（周波数）、ビットエラーレートを測定した。測定結果を以下に示す。

【0242】前述の従来例（図12の構造の場合）もあわせて示してある。その結果、再生出力は従来構造の場合も本発明の構造の場合もほぼ同程度であり、再生出力が半減する周波数も本発明の場合の方が若干向上する程度でそれほど差がなかった。

【0243】しかし、本発明の場合はいずれの場合も従来例と比較してS/Nが格段に優れており、ビットエラーレートも格段に良好であるという結果が得られた。

【0244】これは、図1から図10に示したような縦バイアスの少なくとも一部が磁気抵抗効果素子中のフリー磁性層に接するような構造にすることにより、フリー層に有効に縦バイアスが印加されるようになり、結果としてフリー層のバルクハウゼンノイズが低減したためであると思われる。

【0245】実際に、ヘッド構造でのR-HループをMRスターを用いて測定したところ、フリー層のヒステリ

シスが従来構造の場合と比較して飛躍的に改善されていることがわかった。

構 成	図11 (従来例)	図1	図2	図3	図7	図8	図10	図9
再生出力(mV)	3.1	3.0	3.1	3.1	3.0	3.0	3.1	3.1
再生出力が半減する								
記録再生周波数(kFCI)	170	180	190	185	190	185	185	180
S/N(dB)	21	31	30	31	31	30	29	29
	$1 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-7}$	同左	同左	同左	同左	同左	同

左

以下

【0247】(2) スピンバルブヘッドの場合

【0248】最初に比較のために、従来例に記載されている図11の構造のスピンバルブを用いたヘッドを作成した。

【0249】この際スピンバルブ膜としては、Pt(2nm)/Ir<sub>21</sub>Mn<sub>79</sub>(5nm)/Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>(5)/Ru(0.9)/Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>(5)/Cu(2nm)/Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>(1nm)/Ni<sub>82</sub>Fe<sub>18</sub>(3)/Pt(2nm)を用いた。

【0250】膜形成後には230℃、5時間の熱処理を成膜時の磁界とは直交する方向に500Oeの磁界を印加しつつ行った。ヘッドを構成する各要素としては以下のものを用いた。

【0251】基体…厚さ2mmのアルチック上にアルミナを10μm積層したもの

下シールド層…厚さ0.3μmのCo<sub>65</sub>Ir<sub>12</sub>Fe<sub>23</sub>(組成はat%、以下同じ)

下電極層…Ta(5nm)/Au(60nm)/Ta(5nm)

上電極層…Ta(5nm)/Au(60nm)/Ta(5nm)

上シールド層…厚さ0.3μmのCo<sub>89</sub>Zr<sub>4</sub>Ta<sub>4</sub>Cr<sub>3</sub>

絶縁層…厚さ20nmのアルミナ

縦バイアス層…Cr(5nm)/Co<sub>74</sub>.5Cr<sub>10</sub>.5Pt<sub>15</sub>Cr(12nm)

界面制御層…なし

下ギャップ層…なし

上ギャップ層…なし

上部層…なし

【0252】このヘッドを図30のような記録再生一体型ヘッドに加工およびスライダ加工し、CoCrTa系媒体上にデータを記録再生した。

【0253】この際、書き込みトラック幅は0.5μm、書き込みギャップは0.08μm、読み込みトラック幅は0.2μmとした。スピンバルブ素子部の加工には、電子線の直接描画によるフォトレジスト工程、及び反応性エッチング工程を用いた。

【0254】書き込みヘッド部のコイル部作成時のフォ

【0246】

トレジスト硬化工程は250℃、2時間とした。

【0255】この工程により本来は素子高さ方向を向いていなければならない固定層および固定する層の磁化方向が回転し、磁気抵抗効果素子として正しく動作しなくなったので、再生ヘッド部および記録ヘッド部作成終了後に、180℃、500Oe磁界中、1時間の着磁熱処理を行った。

【0256】この着磁熱処理によるフリー層の磁化容易軸の着磁方向への回転は、磁化曲線からほとんど観測されなかった。

【0257】媒体の保磁力は4.0kOe、MrTは0.38emu/cm<sup>2</sup>とした。試作したヘッドを用いて、再生出力、S/N、再生出力が半減するマーク長(周波数)、ビットエラーレートを測定した。

【0258】測定結果を以下に示す。再生出力は3.8mVと大きく、再生出力が半減する記録再生周波数もそれほど悪くないが、S/Nが20dBと低く、ビットエラーレートも $2 \times 10^{-3}$ と悪かった。

【0259】これは再生信号にバルクハウゼンノイズが乗っているためであり、ヘッドのR-Hループを測定したところ、フリー層磁化反転のヒステリシスが大きくフリー層の磁壁移動に伴うバルクハウゼンノイズが発生している事が明らかになった。図1の構造では、縦バイアス層とフリー層とが絶縁層により隔離されているために、縦バイアスがフリー層に十分印加されず、縦バイアスがバルクハウゼンノイズの低減に寄与しなかったためと考察された。

【0260】再生出力…3.8mV

再生出力が半減する記録再生周波数…180kFCI

S/N…20dB

ビットエラーレート… $2 \times 10^{-3}$

【0261】次に、本発明の実施例として図1～図10の構造のヘッドを作成した。

【0262】膜形成後には250℃、5時間の熱処理を成膜時の磁界とは直交する方向に500Oeの磁界を印加しつつ行った。ヘッドの各構成要素としては以下のものを用いた。

【0263】スピンバルブ膜…Pt(2nm)/Ir<sub>21</sub>Mn<sub>79</sub>(5nm)/Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>(5)/R

u (0.9) / Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub> (5) / Cu (2 nm) / Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub> (1 nm) / Ni<sub>82</sub>Fe<sub>18</sub> (3) / Pt (2 nm)

基体…厚さ2mmのアルチック上にアルミナを10μm積層したもの

下シールド層…厚さ0.3μmのCo<sub>65</sub>Ni<sub>12</sub>Fe<sub>23</sub> (組成はat%, 以下同じ)

下電極層…Ta (5 nm) / Au (60 nm) / Ta (5 nm)

上電極層…Ta (5 nm) / Au (60 nm) / Ta (5 nm)

上シールド層…厚さ0.3μmのCo<sub>89</sub>Zr<sub>4</sub>Ta<sub>4</sub>Cr<sub>3</sub>

絶縁層…厚さ20nmのアルミナ

縦バイアス層…Cr (5 nm) / Co<sub>74.5</sub>Cr<sub>10.5</sub>Pt<sub>15</sub> (12 nm)

界面制御層…なし

下ギャップ層…なし

上ギャップ層…なし

上部層…なし

【0264】このヘッドを図30のような記録再生一体型ヘッドに加工およびスライダ加工し、CoCrTa系媒体上にデータを記録再生した。

【0265】この際、書き込みトラック幅は0.5μm、書き込みギャップは0.08μm、読み込みトラック幅は0.2μmとした。スピナルブ素子部の加工には、電子線の直接描画によるフォトレジスト工程、及び反応性エッチング工程を用いた。

【0266】書き込みヘッド部のコイル部作成時のフォトレジスト硬化工程は250℃、2時間とした。この工程により本来は素子高さ方向を向いていなければならない固定層および固定する層の磁化方向が回転し、磁気抵抗効果素子として正しく動作しなくなったので、再生ヘッド部および記録ヘッド部作成終了後に、200℃、5

構成

図11 図1  
(従来例)

再生出力(mV)	3.8	3.9	3.7	3.8	3.7	3.8	3.9	3.9
再生出力が半減する								
記録再生周波数(kFCI)	175	185	190	180	195	190	185	185
S/N(dB)	20	33	34	33	33	34	30	31
	2×10 <sup>-3</sup>	1×10 <sup>-7</sup>	同左	同左	同左	同左	同左	

同左

以下

【0278】次に、本発明を適用して試作された磁気ディスク装置の説明をする。

【0279】磁気ディスク装置はベース上に3枚の磁気ディスクを備え、ベース裏面にヘッド駆動回路および信号処理回路と入出力インターフェイスとを収めている。

【0280】外部とは32ビットのバスラインで接続される。磁気ディスクの両面には6個のヘッドが配置され

000e磁界中、1時間の着磁熱処理を行った。

【0267】この着磁熱処理によるフリー層の磁化容易軸の着磁方向への回転は、磁化曲線からほとんど観測されなかった。

【0268】媒体の保磁力は4.0kOe、MrTは0.38emu/cm<sup>2</sup>とした。

【0269】試作したヘッドを用いて、再生出力、S/N、再生出力が半減するマーク長(周波数)、ビットエラーレートを測定した。

【0270】測定結果を以下に示す。

【0271】試作したヘッドを用いて、再生出力、S/N、再生出力が半減するマーク長(周波数)、ビットエラーレートを測定した。

【0272】測定結果を以下に示す。前述の従来例(図13の構造の場合)もあわせて示してある。

【0273】その結果、再生出力は従来構造の場合も本発明の構造の場合もほぼ同程度であり、再生出力が半減する周波数も本発明の場合の方が若干向上する程度でそれほど差がなかった。

【0274】しかし、本発明の場合はいずれの場合も従来例と比較してS/Nが格段に優れており、ビットエラーレートも格段に良好であるという結果が得られた。

【0275】これは、図1から図10に示したような縦バイアスの少なくとも一部が磁気抵抗効果素子中のフリー磁性層に接するような構造にすることにより、フリー層に有効に縦バイアスが印加されるようになり、結果としてフリー層のバルクハウゼンノイズが低減したためであると思われる。

【0276】実際に、ヘッド構造でのR-HループをMRテスターを用いて測定したところ、フリー層のヒステリシスが従来構造の場合と比較して飛躍的に改善されていることがわかった。

【0277】

図2 図3 図7 図8 図10 図9

ている。ヘッドを駆動するためのロータリーアクチュエータとその駆動及び制御回路、ディスク回転用スピンドル直結モータが搭載されている。

【0281】ディスクの直径は46mmであり、データ面は直径10mmから40mmまでを使用する。埋め込みサーボ方式を用い、サーボ面を有しないため高密度化が可能である。

【0282】本装置は、小型コンピュータの外部記憶装置として直接接続が可能になっている。入出力インターフェイスには、キャッシュメモリを搭載し、転送速度が毎秒5から20メガバイトの範囲であるバスラインに対応する。また、外部コントローラを置き、本装置を複数台接続することにより、大容量の磁気ディスク装置を構成することも可能である。

#### 【0283】

【発明の効果】本発明の適用により、従来より再生波形のノイズが少なく、S/N及びビットエラーレートが良好な磁気抵抗効果センサ、磁気抵抗効果ヘッド、および記録再生システムを得ることができた。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、本発明に係る磁気抵抗効果ヘッドの第1の具体例の構成を説明する断面図である。

【図2】図2は、本発明に係る磁気抵抗効果ヘッドの第2の具体例の構成を説明する断面図である。

【図3】図3は、本発明に係る磁気抵抗効果ヘッドの第3の具体例の構成を説明する断面図である。

【図4】図4は、本発明に係る磁気抵抗効果ヘッドの第3の具体例の一変形例の構成を説明する断面図である。

【図5】図5は、本発明に係る磁気抵抗効果ヘッドの第3の具体例の他の変形例の構成を説明する断面図である。

【図6】図6は、本発明に係る磁気抵抗効果ヘッドの第3の具体例の別の変形例の構成を説明する断面図である。

【図7】図7は、本発明に係る磁気抵抗効果ヘッドの第4の具体例の構成を説明する断面図である。

【図8】図8は、本発明に係る磁気抵抗効果ヘッドの第5の具体例の構成を説明する断面図である。

【図9】図9は、本発明に係る磁気抵抗効果ヘッドの第7の具体例の構成を説明する断面図である。

【図10】図10は、本発明に係る磁気抵抗効果ヘッドの第6の具体例の構成を説明する断面図である。

【図11】図11は、従来の磁気抵抗効果ヘッドの構成の例を示す断面図である。

【図12】図12は、磁気抵抗効果ヘッドに於ける、縦バイアスの大きさと端部のずれ量との関係を示すグラフである。

【図13】図13は、図12の測定に用いた従来の磁気抵抗効果ヘッドの構成の例を示す図である。

【図14】図14は、本発明に係る磁気抵抗効果ヘッドの第1の具体例の構成を説明する平面図である。

【図15】図15は、本発明に係る磁気抵抗効果ヘッドの第2の具体例の構成を説明する平面図である。

【図16】図16は、本発明に係る磁気抵抗効果ヘッドの第3の具体例の構成を説明する平面図である。

【図17】図17は、本発明に係る磁気抵抗効果ヘッドの第4の具体例の構成を説明する平面図である。

【図18】図18は、本発明に係る磁気抵抗効果ヘッドの第5の具体例の構成を説明する平面図である。

【図19】図19は、本発明に係る磁気抵抗効果ヘッドの第7の具体例の構成を説明する平面図である。

【図20】図20は、本発明に係る磁気抵抗効果ヘッドの第6の具体例の構成を説明する平面図である。

【図21】図21は、本発明に係る第1の具体例の磁気抵抗効果ヘッドの作成手順を示す平面図である。

【図22】図22は、本発明に係る第2の具体例の磁気抵抗効果ヘッドの作成手順を示す平面図である。

【図23】図23は、本発明に係る第3の具体例の磁気抵抗効果ヘッドの作成手順を示す平面図である。

【図24】図24は、本発明に係る第4の具体例の磁気抵抗効果ヘッドの作成手順を示す平面図である。

【図25】図25は、本発明に係る第5及び第6の具体例の磁気抵抗効果ヘッドの作成手順を示す平面図である。

【図26】図26は、本発明に係る第7の具体例の磁気抵抗効果ヘッドの作成手順を示す平面図である。

【図27】図27は、本発明に係る磁気抵抗効果ヘッドの作成手順を示す平面図である。

【図28】図28は、本発明に係る磁気抵抗効果ヘッドの作成手順を示す平面図である。

【図29】図29は、本発明に係る磁気抵抗効果ヘッドに於ける磁気抵抗効果素子部を含む縦方向に切断した場合の磁気抵抗効果素子近傍の構成を示す断面図である。

【図30】図30は、本発明に係る磁気抵抗効果ヘッドを適用した記録再生ヘッドの構成の一例を示す斜視図である。

【図31】図31は、本発明の磁気抵抗効果素子を用いた磁気記録再生装置の構成の一例を示す斜視図である。

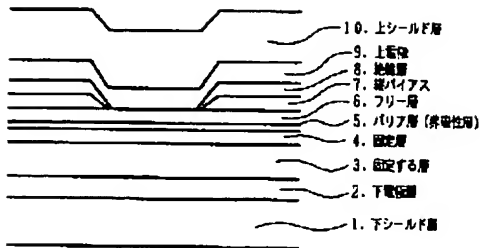
#### 【符号の説明】

- 1…下シールド層
- 2…下電極層
- 3…固定する層
- 4…固定層
- 5…非磁性層、バリア層
- 6…フリー層
- 7…縦バイアス層
- 8…絶縁層
- 9…上電極層
- 10…上シールド層
- 11…界面制御層
- 20…磁気抵抗効果膜、強磁性トンネル接合膜
- 30…磁気抵抗効果ヘッド
- 41…コイル
- 42…基体
- 43…磁極
- 44…上磁極
- 45…再生ヘッド

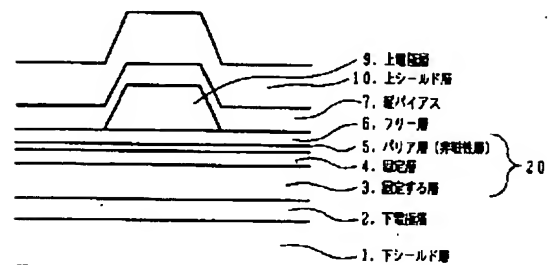
46…ABS面  
50…記録ヘッド  
51…再生ヘッド

52…ヘッドスライダを兼ねる基板  
53…記録媒体  
54…媒体からの漏れ磁界

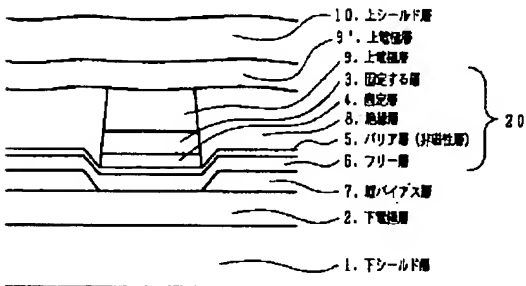
【図1】



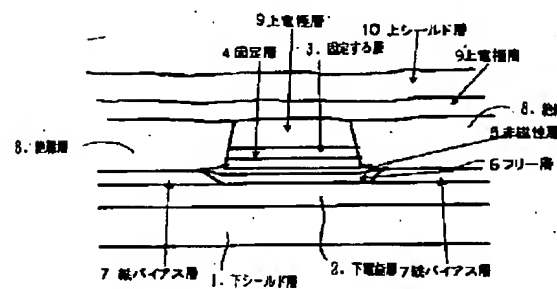
【図2】



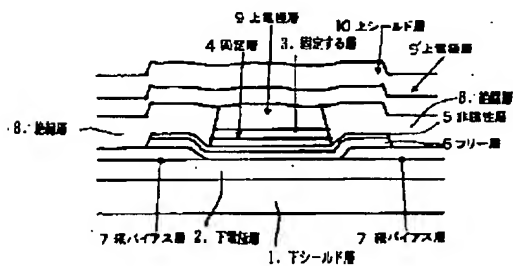
【図3】



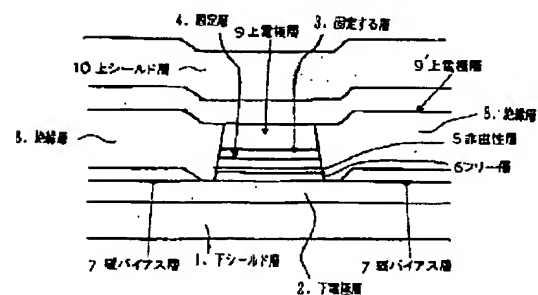
【図4】



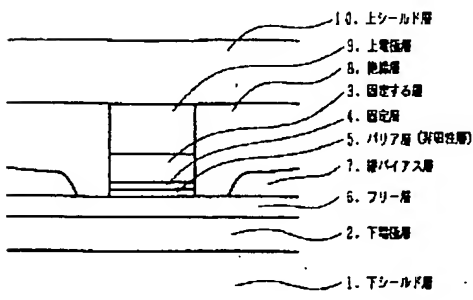
【図5】



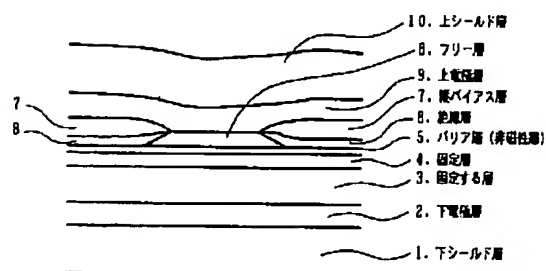
【図6】



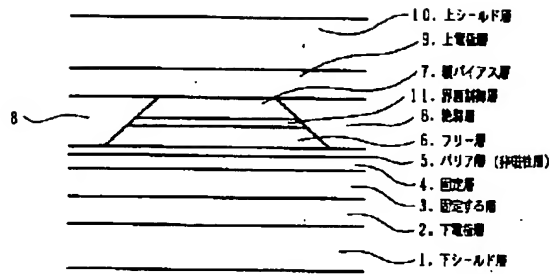
【図7】



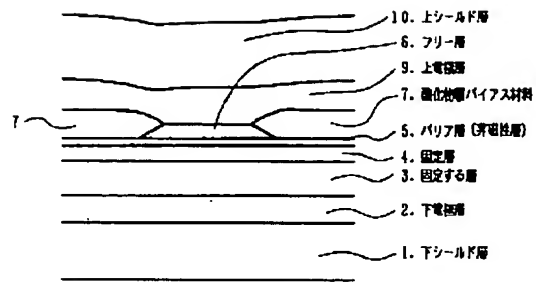
【図8】



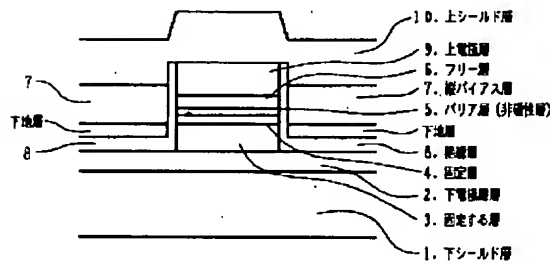
【図 9】



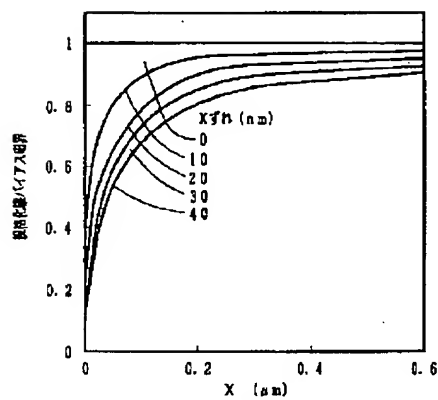
【図 10】



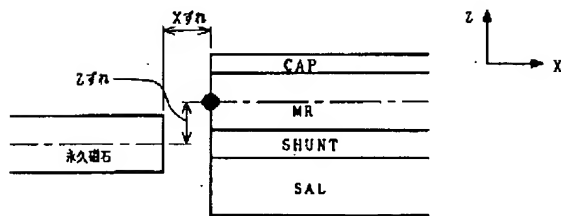
【図 11】



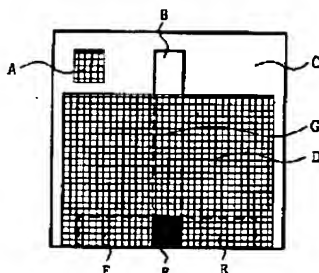
【図 12】



【図 13】

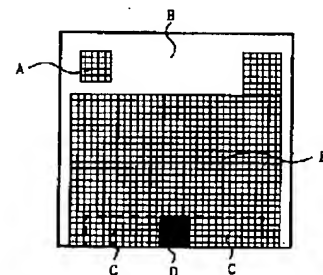


【図 15】



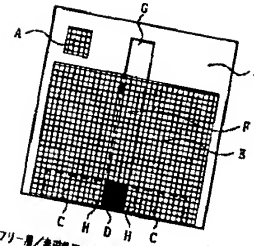
A シールド/下電極  
B 下シールド/下電極/固定する層/固定層/非磁性層/絶縁層/上電極  
C 下シールド/下電極/固定する層/固定層/非磁性層/絶縁層  
D 下シールド/下電極/固定する層/固定層/非磁性層/フリー層/上シールド  
E 下シールド/下電極/固定する層/固定層/非磁性層/フリー層/上電極/絶縁層/上シールド  
F 下シールド/下電極/固定する層/固定層/非磁性層/フリー層/上電極/絶縁層/上シールド  
G 下シールド/下電極/固定する層/固定層/非磁性層/絶縁層/上電極/上シールド

【図 14】

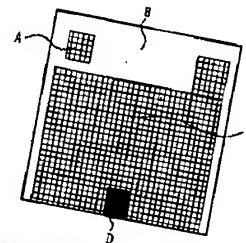


A シールド/下電極  
B 下シールド/下電極/固定する層/固定層/非磁性層/絶縁層/上電極  
C 下シールド/下電極/固定する層/固定層/非磁性層/フリー層/上シールド  
D 下シールド/下電極/固定する層/固定層/非磁性層/フリー層/上電極/上シールド  
E 下シールド/下電極/固定する層/固定層/非磁性層/絶縁層/上電極/上シールド

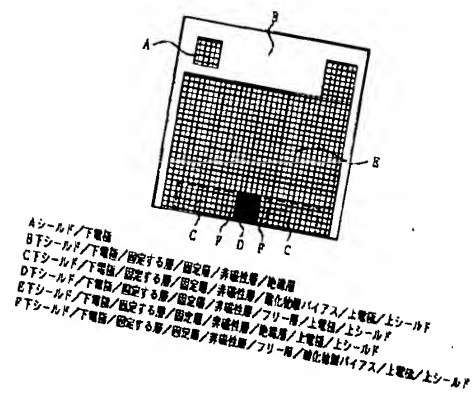
【圖 17】



【図 19】

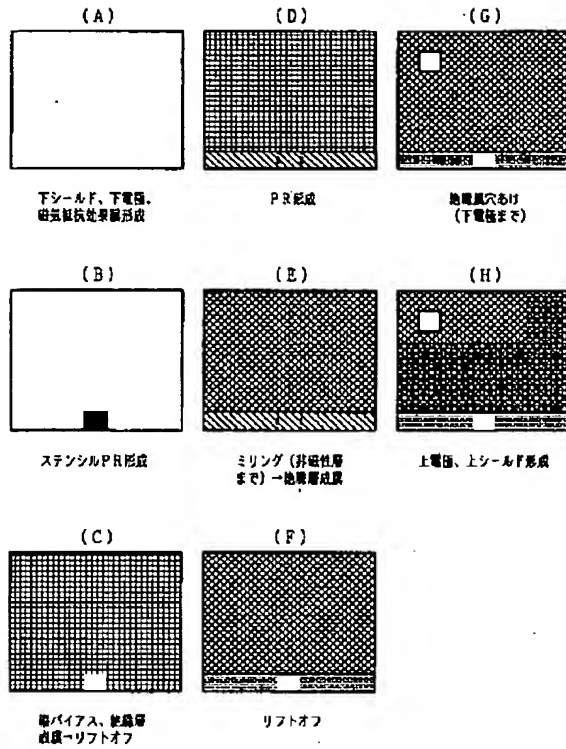


【圖29】

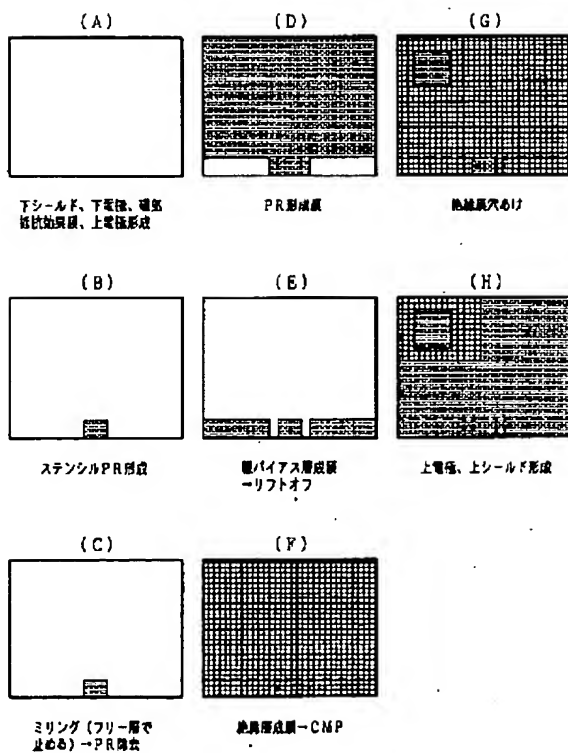




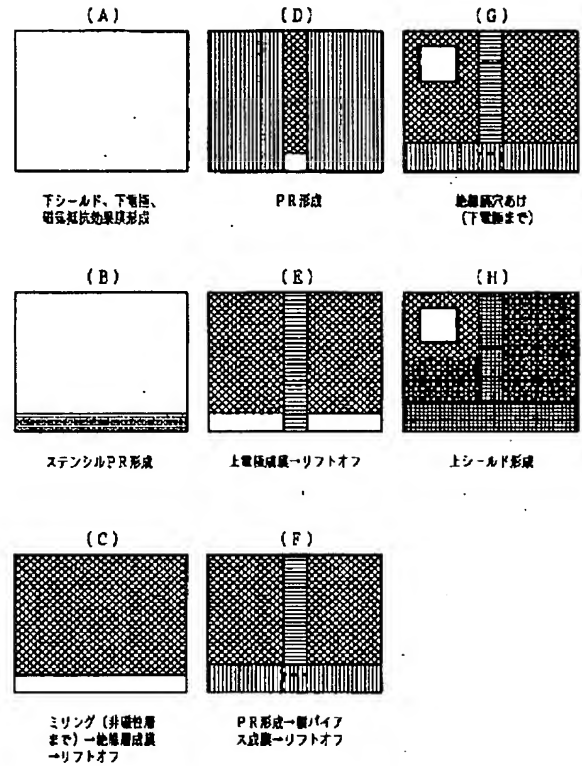
【図 21】



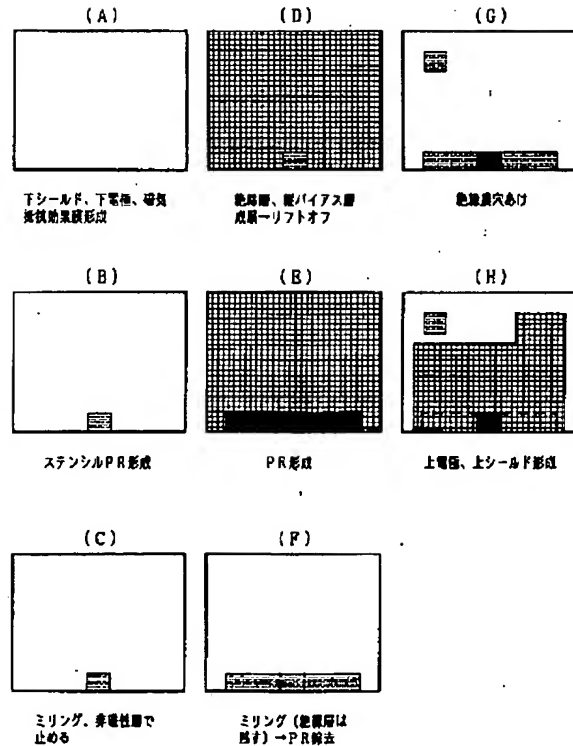
【図 24】



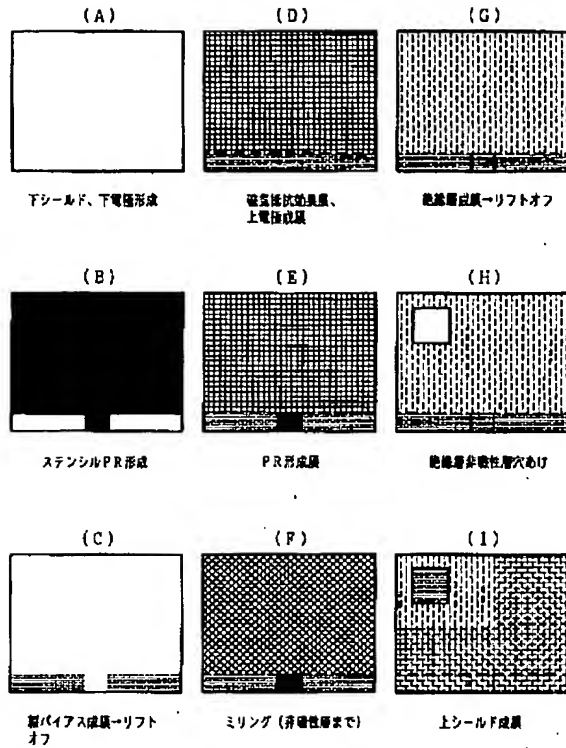
【図 22】



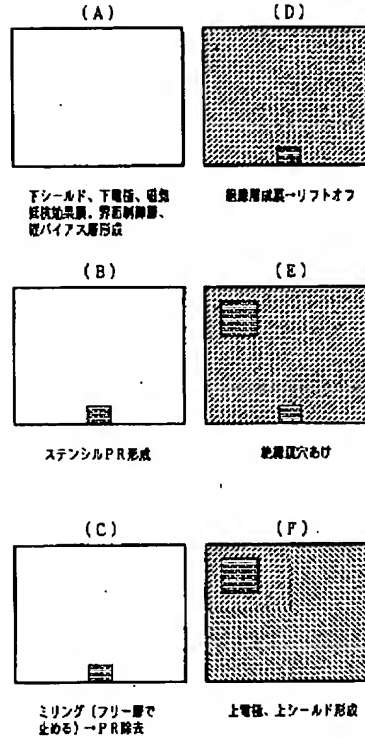
【図 25】



【図 23】

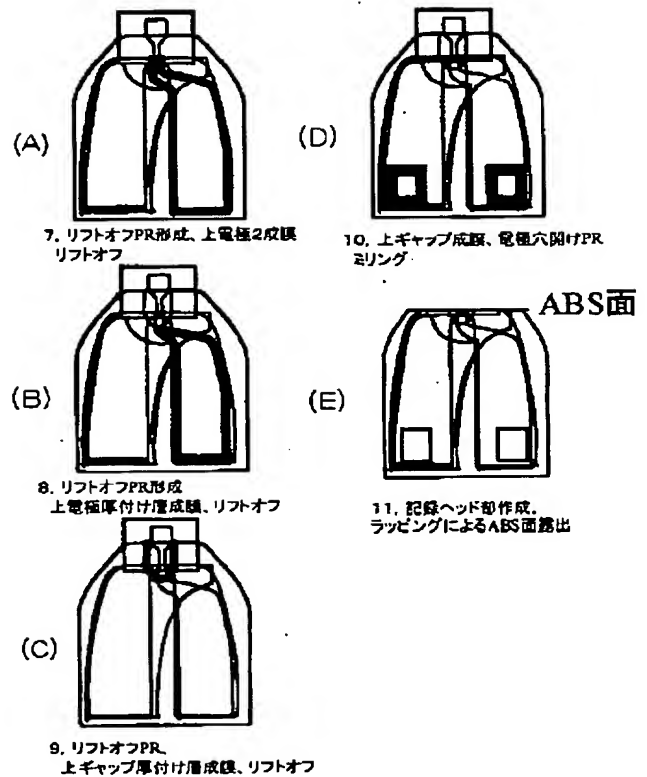
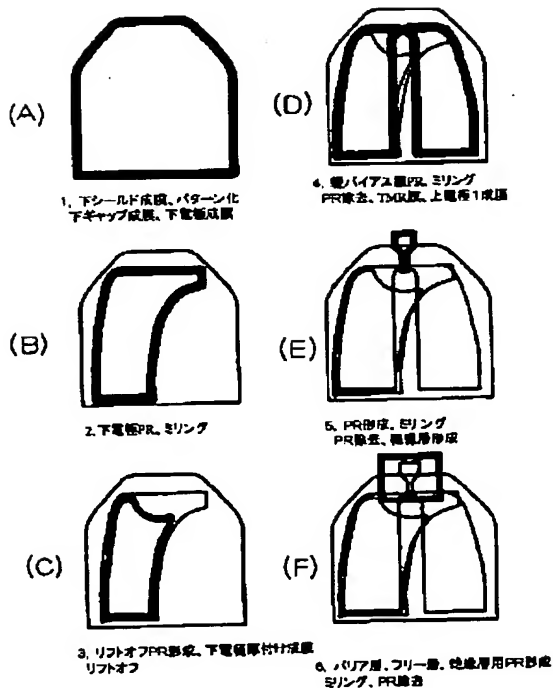


【図 26】

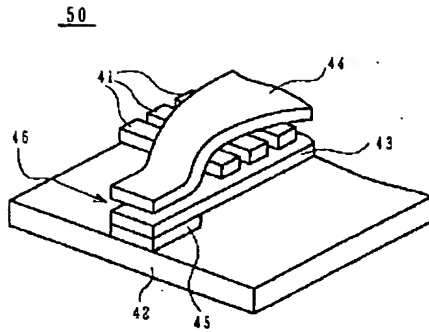


【図 28】

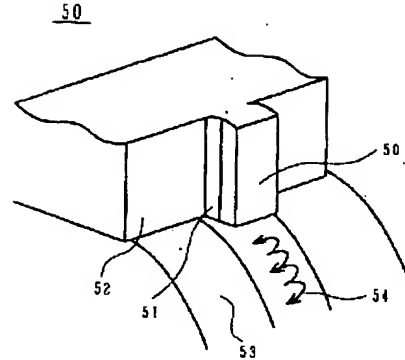
【図 27】



【図 30】



【図 31】



フロントページの続き

(72)発明者 石綿 延行  
東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株  
式会社内

(72)発明者 中田 正文  
東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株  
式会社内

(72)発明者 石 勉  
東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株  
式会社内

(72)発明者 本庄 弘明  
東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株  
式会社内

(72)発明者 石原 邦彦  
東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株  
式会社内

(72)発明者 藤方 潤一  
東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株  
式会社内

(72)発明者 松寺 久雄  
東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株  
式会社内

(72)発明者 柘植 久尚  
東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株  
式会社内

(72)発明者 上條 敦  
東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株  
式会社内

F ターム(参考) 5D034 BA03 BA06 BA09 BA13 BA15  
BA17 BA18 BB08 CA04